

Leena Korpinen

Yleisön altistuminen pientaajuisille
sähkö- ja magneettikentille Suomessa

SOSIAALI- JA TERVEYSMINISTERIÖ

Helsinki 2003



TIIVISTELMÄ

Leena Korpinen. Yleisön altistuminen pientaajuisille sähkö- ja magneettikentille Suomessa. Helsinki, 2003. 87 s. (Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita ISSN 1236-116X; 2003:12)
ISBN 952-00-1400-4

Uusi sosiaali- ja terveysministeriön (STM) asetus (294/2002) 'ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamisesta' on tullut voimaan 1.5.2002. Uudessa asetuksessa vahvistetaan enimmäisarvot ultraviolettisäteilylle, radiotaajuiselle säteilylle ja lasersäteilylle sekä suositusarvot pientaajuisille sähkö- ja magneettikentille. Asetus koskee ainoastaan väestön altistumista. Työntekijöiden osalta on edelleen voimassa STM:n päätös (1474/1991), joka asettaa enimmäisarvot muille paitsi pientaajuisille kentille.

Tämän projektin päätavoitteena on koota tietopaketti sähkö- ja jakelujärjestelmän sähkö- ja magneettikentistä STM:n uuden asetuksen käytäntöönpanon tueksi. Tavoitteena on tuottaa myös WWW-muotoinen aineisto.

Tietopaketin pääpaino on sähkö- ja jakelujohdoissa. Tietopaketti on kirjoitettu viranomaisille esimerkiksi ympäristökeskusten ja läänin terveystarkastajien käyttöön. Tavoitteena oli, että se soveltuu myös toiminnanharjoittajien (esimerkiksi sähköyhtiöiden) käyttöön.

Tietopaketti sisältää muun muassa sähkönsiirto- ja jakelujohtojen sähkö- ja magneettikentät, rakennusten sähkö- ja magneettikentät sekä kodin laitteiden kentät. Kenttien mittaaminen ja laskenta esitetään varsin yleisellä tasolla.

Asiasanat: altistuminen, sähkökentät, sähkömagneettiset kentät, säteily, säteilyturvallisuus, terveydensuojelu

REFERAT

Leena Korpinen. Allmänhetens exponering för lågfrekventa elektriska och magnetiska fält i Finland. Helsingfors, 2003. 87 s. (Social- och hälsovårdsministeriets handböcker ISSN 1236-116X; 2003:12)
ISBN 952-00-1400-4

Social- och hälsovårdministeriets nya förordning om begränsning av befolkningens exponering för icke-joniserande strålning (294/2002) trädde i kraft 1.5.2002. I den nya förordningen fastställs maximivärden för ultraviolett strålning, radiofrekvent strålning och laserstrålning samt rekommenderade värden för lågfrekventa elektriska och magnetiska fält. Förordningen gäller endast exponering av befolkningen. För arbetstagarnas del gäller fortfarande social- och hälsovårdministeriets beslut (1474/1991), som föreskriver om maximivärdena för andra än lågfrekventa fält.

Huvudmålsättningen för det här projektet är att sammanställa ett informationspaket om elektriska och magnetiska fält i överföringen och distributionen av el som stöd för verkställigheten av social- och hälsovårdministeriets nya förordning. Målet är också att producera material i WWW-format.

Huvudvikten har lagts på överförings- och distributionsledningar. Informationspaketet har uppgjorts med tanke på myndigheterna och för att användas till exempel av miljöcentralerna och länens hälsoinspektörer. Avsikten var att det också skall kunna användas av verksamhetsutövare (till exempel elbolagen).

Informationspaketet innehåller bland annat elektriska och magnetiska fält i överförings- och distributionsledningar, elektriska och magnetiska fält i byggnader och fälten i hemmets apparater. Mätningen och beräkningen av fälten presenteras på en mycket allmän nivå.

Nyckelord: elektriska fält, elektromagnetiska fält, exponering, hälsoskydd, strålning, strålningssäkerhet

SUMMARY

Leena Korpinen. Public exposure to low frequency electric and magnetic fields in Finland. Helsinki, 2003. 87pp. (Handbooks of the Ministry of Social Affairs and Health, Finland; ISSN 1236-116X; 2003:12)
ISBN 952-00-1400-4

The new decree (294/2002) of the Ministry of Social Affairs and Health (STM) "the limitation of public exposure to non-ionizing radiation" has come into effect on 1 May 2002. The new decree enforces binding exposure limits for ultraviolet radiation, radiofrequency radiation and laser radiation and re-recommendations for low frequency electric and magnetic fields. The decree concerns only public exposure. For workers STM's decision (1474/1991), that sets binding exposure limits for the whole range of radiation except low frequency fields, is still applied.

The main aim of this project is to create an information package concerning electric and magnetic fields of electricity transmission and distribution systems supporting the implementation of the new STM decree. The aim is also to produce WWW-based material.

The information package focuses mainly on electricity transmission and distribution lines. The information package is made for authorities, for example for the use of environmental centers and provinces' health officials. The aim is that it can be applied also to the use of corporations (for example elect-rich companies).

Among others, the information package includes electric and magnetic fields of electricity transmission and distribution lines, electric and magnetic fields of buildings and fields of domestic electric devices. Measurements and calculations of the fields are presented at very general level.

Key words: Electric fields, electromagnetic fields, exposure, health protection, radiation, radiation safety.

ESIPUHE

Tämä julkaisu on Tampereen teknillisen yliopiston (aikaisemmin Tampereen teknillinen korkeakoulu) Sähkötekniikka ja terveys -laboratoriossa tehdyn projektin ”Tietopaketti sosiaali- ja terveysministeriön asetuksista (294/2002) ’ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamisesta’ liittyen sähkönsiirto- ja jakelujärjestelmään” yhteenvedo. Hankkeen rahoittajina ovat toimineet sosiaali- ja terveysministeriö ja Fingrid Oyj.

Hankkeen johtoryhmään ovat kuuluneet johtava asiantuntija Jarmo Elovaara (Fingrid Oyj), ylitarkastaja Osmo Haltia (Kauppa- ja teollisuusministeriö), ympäristöjohtaja Martti Hyvönen (Energia-alan keskusliitto ry, Helsingin Energia), yksikön johtaja Kenneth Hänninen (Sähköenergialiitto ry), tutkimusprofessori Kari Jokela (Säteilyturvakeskus), professori Leena Korpinen (Tampereen teknillinen yliopisto), erityisasiantuntija Kauko Hartikainen (aikaisemmin erityisasiantuntija Matti Laiho) (Suomen Kuntaliitto) ja ylilääkäri Mikko Paunio (Sosiaali- ja terveysministeriö).

Hankkeen toteuttajana on toiminut professori Leena Korpinen. Raportin toteutuksessa ovat avustaneet insinööri Riitta Lehtelä, teknikko Leena Luoma ja yksikön johtaja Kenneth Hänninen (Sähköenergialiitto ry).

Hankkeen toteutuksessa ovat myös avustaneet Fingrid Oyj, kauppa- ja teollisuusministeriö, sosiaali- ja terveysministeriö ja Säteilyturvakeskus. Johtoryhmälle ja kaikille mukana olleille henkilöille parhaat kiitokset.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	3
REFERAT	5
SUMMARY.....	7
ESIPUHE	9
SISÄLLYSLUETTELO	11
1 JOHDANTO.....	13
2 SÄHKÖ- JA MAGNEETIKENTÄT.....	15
2.1 Sähkömagneettinen spektri	15
2.2 Sähkökenttä.....	15
2.3 Magneettikenttä	16
2.4 Sähkö- ja magneettikenttien laskeminen	17
2.5 Sähkö- ja magneettikenttien mittaaminen.....	17
2.6 Sähkö- ja magneettikenttämittausten epätarkkuus	19
3 YHTEENVETO SOSIAALI- JA TERVEYSMINISTERIÖN ASETUKSESTA (294/2002) 'IONISOIMATTOMAN SÄTEILYN VÄESTÖLLE AIHEUTTAMAN ALTISTUMISEN RAJOITTAMISESTA' 21	
3.1 Asetuksen lähtökohdat	21
3.2 Asetuksen biologinen tausta.....	22
3.3 Taloudelliset vaikutukset.....	23
3.4 Asetuksessa (294/2002) esitetyt suositusarvot enintään 100 kHz taajuisille sähkö- ja magneettikentille.....	23
3.5 Asetuksessa (294/2002) esitetyt suositusarvot pientaajusten laajakaistaisten kenttien osalta	27
4 SUOMEN SÄHKÖJÄRJESTELMÄ	29
4.1 Sähkön tuotanto	29
4.2 Sähkön siirto- ja jakeluverkot.....	30
4.3 Sähköjohdot.....	34
5 SÄHKÖNSIIRTO- JA JAKELUJOHTOJEN SÄHKÖ- JA MAGNEETIKENTÄT	37
5.1 Asetuksen määrittelemät suositusarvot.....	37
5.2 Laskentatuloksia sähkö- ja magneettikentistä erilaisilla pylväillä	37
5.3 Mittaustuloksia siirto- ja jakelujohdoilta.....	43
5.4 Asetuksen merkitys 400 kV, 220 kV ja 110 kV voimajohtoihin liittyviin maankäyttö- ja kaavoituskysymyksiin	48
6 RAKENNUSTEN SÄHKÖ- JA MAGNEETIKENTÄT	51
6.1 Asetuksen määrittelemät suositusarvot.....	51
6.2 Mittaustuloksia kiinteistömuuntamoiden lähellä olevien tilojen magneettikentistä	51
6.3 Kodeissa esiintyviä sähkö- ja magneettikenttiä	53
7 KODIN LAITTEIDEN KENTÄT	55
7.1 Asetuksen määrittelemät suositusarvot.....	55
7.2 Mittaustuloksia kodin laitteiden kentistä.....	55
8 TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT	58
KIRJALLISUUSVIITTEET	61
AIHEESEEN LIITTYVIÄ WWW-LINKKEJÄ.....	63
LIITE 1, STUK tiedottaa 1/2003.....	65

1 JOHDANTO

Uusi sosiaali- ja terveysministeriön (STM) asetus (294/2002) 'ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamisesta' on tullut voimaan 1.5.2002. STM:n asetus perustuu Euroopan unionin neuvoston suositukseen vuodelta 1999, sekä ICNIRP:n (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) ohjearvoihin (Euroopan unionin neuvosto 1999, ICNIRP 1998). Uudessa asetuksessa vahvistetaan enimmäisarvot ultra-violettsäteilylle, radiotaajuiselle säteilylle ja lasersäteilylle sekä suositusarvot pientaajuisille sähkö- ja magneettikentille. Asetus koskee ainoastaan väestön altistumista. Työntekijöiden osalta on edelleen voimassa STM:n päätös (1474/1991), joka asettaa enimmäisarvot muille paitsi pientaajuisille kentille.

Ennen tätä asetusta Suomessa ei ole ollut säädöstä siitä, minkälaisille pientaajuisille sähkö- ja magneettikentille väestö saa altistua. Vuodesta 1999 lähtien on sovellettu ohjeellisesti lähinnä Euroopan unionin neuvoston julkaisemaa suositusta väestön sähkömagneettisille kentille (0 Hz – 300 GHz) altistumisen arvioimisessa.

Asetuksessa tai sen perusteluosassa ei ole otettu kantaa siihen, miten asetusta sovelletaan tulevaisuudessa sähkö- ja jakelujärjestelmien osalta esimerkiksi uusia johtoja rakennettaessa tai vanhojen johtojen lähelle rakennettaessa. Kuitenkin voimajohtojen alla on mitattu arvoja, jotka ylittävät pitkäaikaisen altistumisen suositusarvon 5 kV/m, mutta eivät ylitä arvoa 15 kV/m, joka on määritelty altistukselle, mikä ei kestä merkittävää aikaa.

Mielenkiinto sähköjärjestelmien aiheuttamista kentistä on lisääntynyt asetuksen valmistumisen myötä. On katsottu tarpeelliseksi koota STM:n uuden asetuksen käytäntöönpanon tueksi tietopaketti asetuksen merkityksestä sähkö- ja jakelujärjestelmissä.

Tietopaketti on kirjoitettu viranomaisille esimerkiksi ympäristökeskusten ja läänin terveys-tarkastajien sekä kuntien terveys- ja ympäristöviranomaisten käyttöön. Tavoitteena oli, että se soveltuu myös toiminnanharjoittajien (esimerkiksi sähköyhtiöiden) käyttöön. Tietopaketista on tuotettu myös WWW-muotoinen aineisto.

Tietopaketti sisältää muun muassa sähkönsiirto- ja jakelujohtojen sähkö- ja magneettikentät, rakennusten sähkö- ja magneettikentät sekä kodin laitteiden kentät. Kenttien mittaaminen ja laskenta esitetään varsin yleisellä tasolla.

Kiinteistömuuntamoita koskeva Säteilyturvakeskuksen erillinen ohje rakennusten kenttien mittaamisesta (Jokela 2003) on liitetty tämän oppaan loppuun (liite 1). Tämä ohje käsittelee varsin kattavasti kiinteistömuuntamoiden kenttien mittaamista. Tietopaketissa on käytetty hyväksi TTY:n aikaisempia mittaus- ja laskentatuloksia.

YDINASIAT

Johdanto

Uusi sosiaali- ja terveysministeriön (STM) asetus (294/2002) 'ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamisesta' on tullut voimaan 1.5.2002.

Asetuksessa vahvistetaan enimmäisarvot ultraviolettisäteilylle, radiotaajuiselle säteilylle ja lasersäteilylle sekä suositusarvot pientaajuisille sähkö- ja magneettikentille.

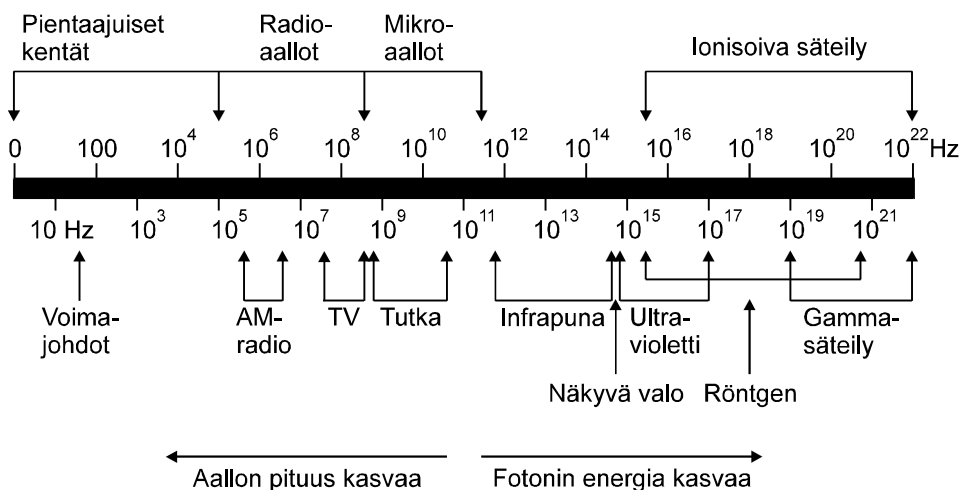
Tämä tietopaketti on koottu STM:n uuden asetuksen käytäntöönpanon tueksi asetuksen merkityksestä sähkö- ja jakelujärjestelmissä.

2 SÄHKÖ- JA MAGNEETIKENTÄT

2.1 Sähkömagneettinen spektri

Sähköjärjestelmän aiheuttamasta ionisoimattomasta sähkömagneettisesta säteilystä ei yleensä käytetä sanaa säteily, vaan puhutaan sähkö- ja magneettikentistä. Näitä kenttiä aiheuttaa ihmisten kehittämä tekniikka. Useimpien teknisten sähköjärjestelmien kentät ovat käyttötajuisia (50 Hz) sähkö- ja magneettikenttiä. Esimerkkejä näistä kentistä ovat sähkönsiirto- ja jakelujohtojen sekä sähkölaitteiden aiheuttamat sähkö- ja magneettikentät. Kuvassa 2.1 on esitetty koko sähkömagneettisen säteilyn spektri.

Kuva 2.1. Sähkömagneettisen säteilyn spektri. 50 Hz kentät ovat lähes yksinomaan ihmisen kehittämien teknisten laitteiden aiheuttamia. (Korpinen ym. 1995)



Myös luonnossa esiintyy sähkö- ja magneettikenttiä. Sähkökenttä vaihtelee sääolosuhteiden mukaan. Ukonilmalla staattisen kentän voimakkuus kasvaa jopa tasolle 20 kV/m. Maan magneettikenttä vaihtelee maaperän mukaan. Suomessa maan magneettikenttä on noin 50 μ T. Edellä esitetyt luonnossa esiintyvät kentät ovat periaatteessa staattisia kenttiä. (World Health Organisation 1984)

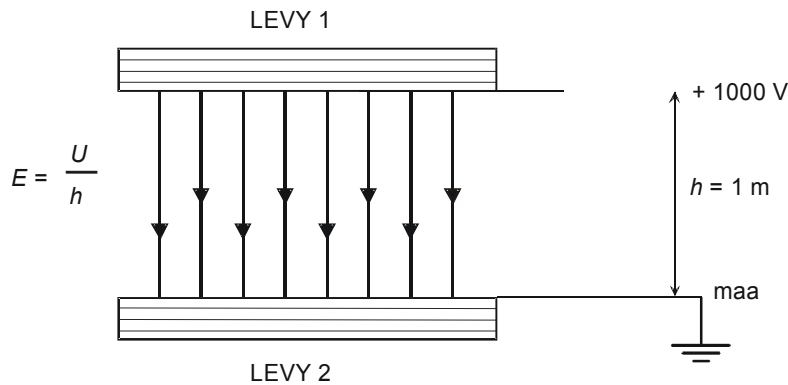
2.2 Sähkökenttä

Sähkövaraus synnyttää ympärilleen sähkökentän. Sähkökentän voimakkuus E määritellään kentän varaukseen Q kohdistaman voiman F ja varauksen Q suhteena. Sähkökentän suunta on se suunta, johon kentässä oleva positiivinen varaus pyrkii liikkumaan. Sähkökentän voimakkuuden yksikkönä käytetään voltia metriä kohti (V/m), mutta sähköjärjestelmän yhteydessä käytetään usein kilovoltia metriä kohti (kV/m).

Kahden suuren, toisiaan lähellä olevan sähköisesti varatun levyn välissä vallitsee homogeeninen sähkökenttä, jonka voimakkuus voidaan laskea jakamalla levyjen välinen potentiaaliero eli jännite niiden välisellä etäisyydellä (kuva 2.2). Sähkökenttää havainnollistamaan käytetään usein kenttäviivoja. Niiden suunta kuvaa kentän suuntaa ja niiden tiheys suhteellista kentänvoimakkuutta. Kuvassa 2.2 on esimerkkinä toisistaan 1 metrin etäisyydellä ole-

vien tasomaisten levyjen välillä vallitseva homogeeninen sähkökenttä. Jos levyjen välinen jännite on 1000 V eli yksi kilovoltti, sähkökentän voimakkuus on 1 kilovoltti metriä kohti (kV/m). (Korpinen ym. 1995)

Kuva 2.2. Kahden levyn välinen sähkökenttä (E on sähkökenttä, U on levyjen välinen jännite, h on levyjen välinen etäisyys). (Korpinen ym. 1995)



Sähkökentän voimakkuuteen ja suuntaan voidaan vaikuttaa materiaalivalinnoilla. Esimerkiksi johtavasta materiaalista olevan häkin tai tilan sisään ulkoinen sähkökenttä ei voi ollenkaan tunkeutua.

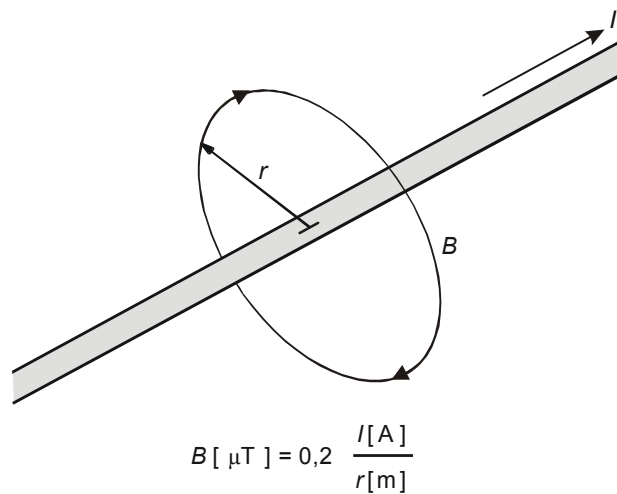
2.3 Magneettikenttä

Sähkövarausten liike eli sähkövirta synnyttää ympärilleen magneettikentän. Pitkässä viivamaisessa suorassa johtimessa kulkevan sähkövirran I aiheuttama magneettikentän voimakkuus H etäisyydellä r johtimesta on suoraan verrannollinen virtaan mutta kääntäen verrannollinen etäisyyteen.

Magneettikentän voimakkuus ilmoitetaan ampeereina metriä kohti (A/m). Magneettikenttä voidaan kuvata myös toisella suureella, jota kutsutaan magneettivuon tiheydeksi. Magneettivuon tiheys B riippuu väliaineesta ja magneettikentän voimakkuudesta. Magneettivuon tiheyden yksikkö on tesla (T). Magneettikentän voimakkuutta $H = 1 \text{ A/m}$ vastaa ilmassa magneettivuon tiheys $B = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ T} = 1,26 \text{ mikrotleslaa } (\mu\text{T})$. Magneettisessa materiaalissa sama magneettikentän voimakkuus saattaa aiheuttaa jopa tuhatkertaisen vuontiheyden ilmaan verrattuna.

Myös magneettikenttää voidaan kuvata kenttäviivoilla. Jos suoran, pitkän johtimen virta on 1000 A, magneettivuon tiheys 1 metrin etäisyydellä on 200 μT (kuva 2.3).

Kuva 2.3. Suoran virtajohtimen ympärillä esiintyvä magneettikenttä (B on magneettivuon tiheys, I on johtimessa kulkeva virta, tarkastelupiste on etäisyydellä r johtimesta). (Korpinen ym. 1995)



Magneettikentän kulkua voidaan ohjata tai osa kentästä voidaan muuntaa kentän indusoiman pyörrövirran avulla käyttämällä ferromagneettista tai hyvin sähköä johtavaa materiaalia. Esimerkiksi rakentamalla kyseisestä aineesta kotelo magneettikentän synnyttävän laitteen tai suojattavan kohteen ympärille. Yhtenä vaihtoehtona on käyttää geometriaa hyväksi esimerkiksi sijoittamalla voimalaitoksen ja kiinteistömuuntamon kiskot tasoasennuksen sijasta kolmion kärkipisteisiin. (Korpinen ym. 1995)

2.4 Sähkö- ja magneettikenttien laskeminen

Sähkö- ja magneettikenttien laskenta on monesti vaikeaa ja edellyttää aina ammattitaitoa. Laskennan aikana pitää tehdä erilaisia oletuksia ja yksinkertaistuksia, jotta laskenta pystytään toteuttamaan. Esimerkiksi voimajohtojen kenttiä laskettaessa oletetaan, että johdon alla maa on tasainen, eikä siellä ole kasvillisuutta.

Kenttien laskentaa tehdään analyttisesti matemaattisten kaavojen avulla tai arvioimalla kentänjakaumaa numeerisesti. Analyttinen laskenta soveltuu esimerkiksi voima- ja jakelujohtojen kenttien laskemiseen. Numeeriseen laskentaan käytetään esimerkiksi FEM (finite element method) -laskentamenetelmää. FEM-menetelmää käytetään esimerkiksi laskettaessa materiaalien vaimennuskykyä.

2.5 Sähkö- ja magneettikenttien mittaaminen

Pientaajuisten sähkökenttien mittaamiseen voidaan käyttää sekä hetkellis- että pitkäaikaismittaria. Nämä molemmat käyttävät samoja menetelmiä sähkökentän määrittämisessä. Pitkäaikaismittarissa on, toisin kuin hetkellismittauksiin käytettävässä laitteessa, laskuri sekä muisti, johon se voi tallentaa mitatut kentän arvot muistikapasiteetin sallimalta ajalta. Tämän ominaisuutensa ansiosta pitkäaikaismittaria voidaan käyttää hetkellismittausten lisäksi ihmisen sähkökentille altistumisen mittaamiseen. Tuloksia tarkasteltaessa täytyy käyttää tiettyjä korjauskertoimia ihmisen ja ympäristön mittauksiin aiheuttamien virheiden eliminoinniseksi. (Korpinen 2000)

Sähkökenttiä mitataan kolmella eri tavalla. Ensimmäisessä menetelmässä mittalaite seuraa virtaa tai varausta kahden johtavan elektrodin välillä, toisessa menetelmässä maan ja johtavan elektrodin välillä. Kolmas keino on elektro-optinen. Sähkökenttämittari koostuu periaatteessa kahdesta osasta: anturista ja ilmaisimesta. Ilmaisimessa sisältyy signaalinkäsittelypiiriin ja analogisen tai digitaalisen näytön (Korpinen 2000). Kuvassa 2.4 on esitetty sähkökentän mittausta käytännössä.

Kuva 2.4. Esimerkki sähkökentän mittauksesta (oikean puoleisella mittaajalla lukulaite). Mittauksessa riittävä mittausetäisyys mittauslaitteeseen on tärkeä, koska mittaajan keho vaikuttaa sähkökentän jakaumaan ja suuruuteen.



Pientaajusten magneettikenttien mittaamiseen on saatavilla useita mittareita, jotka perustuvat induktioon, Hall -ilmiöön tai hystereesiin. Eri ilmiöihin perustuvilla mittareilla on kullekin ilmiölle tyypillinen mitta-anturi. (Korpinen 2000)

Pientaajusten magneettikenttien mittareissa voidaan käyttää yhtä anturia, jolla mitataan kentän maksimiarvoa. Magneettivuon tiheyden maksimiarvo on suurin arvo, jonka vuontiheyden amplitudi voi saavuttaa tietyssä pisteessä. Se voidaan mitata kääntelemällä yksiakselista mittaria maksimin löytämiseksi, jolloin mittarin näyttämän suurin lukema kirjataan. Yksiakselista mittaria voidaan käyttää myös mittaamaan kentän kolme ortogonaalista komponenttia, joista lasketaan vuontiheyden resultantti. Tällöin mitattavan kentän täytyy pysyä mittauksen ajan muuttumattomana, että saatu mittaustulos kuvaisi vallitsevaa kenttää. (Korpinen 2000)

Sähkö- ja magneettikenttien mittaamiseen voidaan käyttää myös kolmeakselista anturia mittaamaan resultanttiarvoa, joka on kentän x-, y- ja z-komponenttien neliösumman neliöjuuri. Yleensä kolmeakselisella anturilla mitattu resultantti on suurempi kuin yksiakselisella anturilla mitattu maksimiarvo. (Korpinen 2000)

Laajakaistaisia kenttiä mitattaessa pitää pystyä samanaikaisesti mittaamaan eritaajuisia kenttiä (ICNIRP 2002). Tällaista kenttien mittaamista Säteilyturvakeskus on ohjeistanut rakennusten kenttiä koskevassa mittausohjeessaan (Jokela 2003). Käytännössä 50 Hz magneettikentissä voi olla merkittävästi yliaaltoja, joiden johdosta kenttä on laajakaistainen (2 kHz asti). (ICNIRP 2002, Jokela 2000)

2.6 Sähkö- ja magneettikenttämittauksien epätarkkuus

Mittaustulos koostuu mittarin antamasta mittaustuloksesta ja siihen liittyvästä mittausepätarkkuudesta. Mittausepätarkkuus sisältää tunnetun ja tuntemattoman systemaattisen osan sekä satunnaisen osan. Tunnetun systemaattisen epätarkkuuden vaikutus mittaustuloksiin voidaan selvittää. Tuntematonta systemaattista epätarkkuutta ei saada selville mittauksilla. Satunnainen epätarkkuus saa jokaisella mittauskerralla satunnaisen arvon, jonka suuruutta mittauksessa ei voi suoraan mitata. (Aumala ja Kalliomäki 1985, Korpinen 2000)

Satunnainen epätarkkuus aiheutuu satunnaisesti muuttuvista mittaukseen liittyvistä tekijöistä. Satunnaisia tekijöitä ovat sähkökentän voimakkuuden tai magneettivuon tiheyden vaihtelut, mittarin asennon epätarkkuus, inhimillinen tekijä ja ympäristöolosuhteet. (Korpinen 2000)

Mittaaja voi suorittaa mittaukset jokaisella mittauskerralla eri tavoin. Myös eri mittaajat voivat suorittaa saman mittauksen eri tavalla. Virhe voi satunnaisesti riippua esimerkiksi siitä, mistä suunnasta mittaaja lukee analogista mittaria tai jos digitaalimittari ei talleta suurinta arvoa, mittaajalta saattaa jäädä se näkemättä. (Korpinen 2000)

Mittausolosuhteet saattavat vaihdella mittauspaikoilla huomattavasti. Kenttien mittauksiin vaikuttavia satunnaisia ympäristötekijöitä ovat esimerkiksi EMC (electromagnetic compatibility) -häiriöt, mittauspaikan ympäristön rakenteet (sähkökentän tapauksessa jopa kasvillisuus) sekä ympäristön lämpötilan tai ilmankosteuden ero kalibrointiolosuhteisiin. (Korpinen 2000)

Systemaattinen epätarkkuus aiheutuu mittaukseen liittyvistä muuttumattomista tekijöistä. Muuttumattomia tekijöitä ovat mittausmenetelmän ja mitta-anturin epätarkkuus, inhimilliset tekijät ja ympäristöolosuhteet. (Korpinen 2000)

Mittaaja voi suorittaa mittaukset jokaisella mittauskerralla myös samalla tavoin virheellisesti. Tyypillisiä virheitä ovat mittarin mitta-alueen määrittämisen virheet, virheet desimaalipilkussa ja väärä kytkinten asento. (Korpinen 2000)

Mittausolosuhteet saattavat vaikuttaa systemaattisesti mittauksiin. Tällaisia ympäristötekijöitä ovat esimerkiksi mittaustilan korkeat taustakentän arvot ja ilman lämpötila. Mittausta suoritettaessa taustakenttä saattaa olla suurempi kuin laitteen aiheuttama kenttä, joka aiheuttaa mittaustuloksiin merkittävän systemaattisen epätarkkuuden. Taustakenttää mitattaessa muiden laitteiden tulee olla käytössä normaalisti. Mittaustilan lämpötila saattaa vaikuttaa mittauksen epätarkkuuteen, jos se poikkeaa huomattavasti kalibrointilämpötilasta. Lämpötilasta aiheutuva systemaattinen epätarkkuus saadaan korjattua mittaustuloksesta, jos tiedetään mittarin lämpötilariippuvuus. (Korpinen 2000)

YDINASIAT

Sähkö- ja magneettikentät

Useimpien teknisten sähköjärjestelmien kentät ovat käyttötaajuisia (50 Hz) sähkö- ja magneettikenttiä.

Sähkövaraus synnyttää ympärilleen sähkökentän. Sähkökentän voimakkuus E määritellään kentän varaukseen kohdistaman voiman F ja varauksen Q suhteena. Sähkökentän voimakkuuden yksikkönä käytetään voltia metriä kohti (V/m). Sähköjärjestelmän yhteydessä käytetään usein kilovoltia metriä kohti (kV/m).

Sähkövarausten liike eli sähkövirta synnyttää ympärilleen magneettikentän.

Magneettikentän voimakkuus ilmoitetaan ampeereina metriä kohti (A/m).

Magneettikentän voimakkuutta $H = 1$ A/m vastaa ilmassa magneettivuon tiheys $B = 1,26 \cdot 10^{-6}$ T = 1,26 mikrotleslaa (μ T).

Sähkö- ja magneettikenttien laskeminen

Sähkö- ja magneettikenttien laskenta on monesti vaikeaa ja edellyttää aina ammattitaitoa.

Kenttien laskentaa tehdään analyyttisesti matemaattisten kaavojen avulla tai arvioimalla kentänjakaumaa numeerisesti.

Sähkö- ja magneettikenttien mittaaminen

Pientaajuisien sähkö- ja magneettikenttien mittaamiseen voidaan käyttää sekä hetkellis- että pitkäaikaismittaria.

Mittaustulos koostuu mittarin antamasta mittaustuloksesta ja siihen liittyvästä mitausepä-tarkkuudesta.

Mittausolosuhteet saattavat vaihdella mittauspaikoilla huomattavasti.

3 YHTEENVETO SOSIAALI- JA TERVEYSMINISTERIÖN ASETUKSESTA (294/2002) 'IONISOIMATTOMAN SÄTEILYN VÄESTÖLLE AIHEUTTAMAN ALTISTUMISEN RAJOITTAMISESTA'

Tähän lukuun on poimittu pientaajuisia sähkö- ja magneettikenttiä (enintään 100 kHz) koskevia keskeisiä kohtia sosiaali- ja terveysministeriön asetuksesta (294/2002) ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamisesta ja sen perusteluosasta (Sosiaali- ja terveysministeriön NIR-asiantuntijaryhmän muistio 2002). Sisältöä on pyritty tiivistämään ja selkiyttämään. Altistuslähteet käsitellään myöhemmissä luvuissa.

3.1 Asetuksen lähtökohdat

Aikaisemmin ionisoimattoman säteilyn altistuksen enimmäisarvot radiotaajuiselle säteilylle, lasersäteilylle ja ultraviolettisäteilylle on vahvistettu säteilylain (592/1991) 43 §:n nojalla annetulla sosiaali- ja terveysministeriön päätöksellä (1474/1991). Tässä päätöksessä radiotaajuisista säteilyä koskevat enimmäisarvot on porrastettu sen mukaan, tapahtuuko altistuminen valvotuissa olosuhteissa (työntekijät, ns. ammatillinen altistus) tai valvomattomissa olosuhteissa julkisilla ja niihin verrattavilla paikoilla sekä yksityisillä alueilla (väestö).

Uusi STM:n asetus (294/2002) korvaa aikaisemman päätöksen väestöaltistuksen osalta. Niiltä osin kuin vanhan päätöksen (1474/1991) enimmäisarvot koskevat valvotuissa olosuhteissa toimivia työntekijöitä, ne pysyvät toistaiseksi voimassa. Euroopan unionin piirissä valmistellaan työelämän fysikaalisia haittatekijöitä koskevia direktiivejä, jotka tulevat mahdollisesti sisältämään myös ionisoimattoman säteilyn enimmäisarvot. Suomessa arvioidaan ammatillisen altistuksen rajoittamiskriteerit viimeistään silloin, kun työelämän fysikaalisia haittatekijöitä koskeva yleiseurooppalainen sääntely on valmistunut.

STM:n asetuksen valmistelussa on käytetty uusimpia kansainvälisiä kannanottoja ionisoimattomasta säteilystä väestölle aiheutuvan altistuksen rajoittamiseksi. Keskeisessä osassa on ollut Euroopan unionin neuvoston suositus (1999/519/EY) väestön 0 - 300 gigahertsin (GHz) sähkömagneettisille kentille altistumisen rajoittamisesta. Tämä suositus pohjautuu YK:n tunnustaman alan kansainvälisen asiantuntijatoimikunnan ICNIRP:n (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) suosittelemiin altistumisen perusrajoituksiin sekä niiden noudattamisen mahdollistaviin viitearvoihin ICNIRP:n esityksessä (ICNIRP 1998). Perusrajoituksilla tarkoitetaan arvoja, joita ei voida käytännön tilanteissa mitata (fysikaalisia suureita). Varsinaiset mitattavat suureet ovat viitearvoja. STM:n asetuksessa viitearvoja kutsutaan joko enimmäisarvoiksi tai suositusarvoiksi. Enimmäisarvot ovat luonteeltaan velvoittavia ja suositusarvot ovat luonteeltaan ohjaavia. Pientaajuisien (alle 100 kHz) kenttien osalta asetus sisältää vain suositusarvoja.

Vanhat säännökset ionisoimattomasta säteilystä eivät sisällä alle (enintään) 100 kHz sähkö- ja magneettikenttiä. Kansainvälisiin suosituksiin nojautuen uudessa STM:n asetuksessa on esitetty suositusarvot enintään 100 kHz sähkö- ja magneettikentistä aiheutuvan altistuksen rajoittamiseksi. Tämä on tuonut uutena sääntelyn piiriin sähkölaitteiden ja -johtojen aiheuttamat pientaajuiset kentät. Asetuksen enimmäisarvot koskevat yli 100 kHz sähkömagneettisia kenttiä, ultraviolettisäteilyä ja lasersäteilyä.

Kansainvälisten asiantuntijaelinten kannanottojen lisäksi on asetuksen valmistelussa käytetty ionisoimattoman säteilyn turvallisuutta koskevia tieteellisiä alkuperäisjulkaisuja sekä kir-

jallisuuskatsauksia, jotka on julkaistu aikakauskirjoissa tai esimerkiksi WHO:n Environmental Health Criteria -sarjassa. Lisäksi on käytetty kotimaisia tutkimusaineistoja ja esimerkiksi viitteitä (Verkasalo 1996, Ahlbom ym. 1993, Jokela 2000, Korpinen 2000, Korpinen ym. 1995, ICNIRP 1998, ICNIRP 2002).

Edustava ulkomainen aineisto biologisista vaikutuksista löytyy myös Ison-Britannian säteilyturvallisuuskeskuksen NRPB:n (National Radiological Protection Board) julkaisusta (NRPB 2001).

STM:n asetuksen tarkoitus on ionisoimattoman säteilyn aiheuttamien terveydellisten haittavaikutusten ehkäiseminen ja rajoittaminen. Enimmäisarvot ja suositusarvot eivät takaa kehonsisäisesti asennetun herkän sähköisen laitteen, kuten sydämentahdistimen, häiriintymättömyyttä. Tällaisten laitteiden kohdalla on syytä tarkoin noudattaa laitekohtaisten ohjeiden mukaista varovaisuutta.

3.2 Asetuksen biologinen tausta

STM:n asetuksen biologinen tausta perustuu samoihin lähtökohtiin kuin ICNIRP:n ja EU:n suositukset. Näiden suositusten perustana on, että ne suojaavat kaikilta riittävän hyvin tunnetuilta sähkö- ja magneettikenttien haittavaikutuksilta. Tällaisia vaikutuksia alle 100 kHz:n kentille ovat: hermo- ja lihassolujen stimuloituminen kudoksiin indusoituvan sähkövirran vaikutuksesta sekä hyvin pinnalliset ihovaikutukset, jotka aiheutuvat pienistä kipinäpurkauksista ja ihokarvojen liikkumisesta hyvin voimakkaassa pientaajuisessa sähkökentässä.

Tutkimuksissa on saatu viitteitä, että erilaisia biologisia vaikutuksia voisi esiintyä selvästi pienemmilläkin altistumistasoilla kuin mitä ICNIRP:n ja EU:n suosittelemat arvot ovat. Soluviljelmäkokeissa on havaittu sähkö- ja magneettikenttien aiheuttamia muutoksia solujen toiminnoissa, ja joissakin eläinkokeissa on esiintynyt viitteitä karsinogeenisuudesta (kyky tai taipumus aiheuttaa syöpää). Epidemiologisissa tutkimuksissa on saatu viitteitä, että lasten leukemiaa voisi esiintyä hieman normaalia enemmän silloin, kun magneettikentän vuontiheys on asunnossa yli 0,4 mikrotesslaa (μT). Maailman terveysjärjestön WHO:n kansainvälinen syöväntutkimuskeskus IARC (International Agency for Cancer Research) on todennut, että pitkäaikainen oleskelu asuinympäristössä yli 0,4 μT magneettikentässä saattaa aiheuttaa lapsilla syöpää (leukemia). Toisin sanoen 50 Hz magneettikentät ovat mahdollisesti syöpää aiheuttavia edellä mainitussa altistuksessa (IARC:n 2B luokitus).

IARC luokittelee syöpävaarallisuutta neljään eri luokkaan. Ryhmään yksi kuuluvat ihmiselle syöpää aiheuttavat aineet tai altistusolosuhteet. Tällaisia altisteita ovat esimerkiksi asbesti ja ultraviolettisäteily. Luokkaan kaksi kuuluvat alaryhmät 2A (todennäköisesti syöpää aiheuttavat altisteet) ja 2B (mahdollisesti syöpää aiheuttavat altisteet). 2B ryhmään kuuluvat esimerkiksi noki, kahvi ja pakokaasu, pientaajuisten magneettikenttien lisäksi. Luokkaan 3 kuuluvat altisteet, joita ei ole luokiteltu karsinogeenisuuden mukaan. Tähän luokkaan kuuluvat esimerkiksi tee, pientaajuiset sähkökentät ja staattiset magneettikentät. Luokkaan 4 kuuluvat altisteet, jotka eivät todennäköisesti ole ihmiselle syöpää aiheuttavia. STM:n asetusta valmistellessa IARC:n kannanotto magneettikenttien osalta on otettu huomioon osana päätöksentekoa.

Jos Suomessa näille kentille altistuva väestömäärä suhteutetaan mahdolliseen riskin lisäykseen, jota ei kuitenkaan ole epidemiologisesti pätevästi voitu osoittaa, saattaisi se merkitä muutamien lapsen sairastumista leukemiaan kymmenen vuoden aikana. Kuitenkaan sellaista biologista vaikutusmekanismia, jolla magneettikenttien mahdollinen karsinogeenisuus olisi selitettävissä, ei tunneta.

STM:n asetus noudattaa EU:n suositusta eräin poikkeuksin. Merkittävän ajan kestävässä altistuksessa suositusarvot ovat 1999/519 EY-asiakirjan mukaisia. Muuhun kuin merkittävän ajan kestävässä altistumiseen sovellettavat arvot ovat EU:n suosittelemia periaatteita seuraten lievempiä. Altistuksen ollessa ei merkittävä käytetään sähkökentille kerrointa 3 ja magneettikentille kerrointa 5. Arvot on valittu siten, että ICNIRP:n ammatillisen altistumisen ohjearvoja ei merkittävästi ylitetä. Lisäksi laajakaistaisia sähkö- ja magneettikenttiä koskeviin EU-suosituksen kohtiin on tehty teknisluonteisia muutoksia. Muutoksista tärkein on laajakaistaisen magneettikentän määrittäminen ns. painotetun huippuarvon menetelmällä (Jokela 2003).

Asetuksessa on esitetty suositusarvot myös kapasitiivisen purkausvirran tehollisarvoille. Kapasitiivisella purkausvirralla tarkoitetaan sähkökentässä olevasta varautuneesta henkilöstä maadoitettuun kappaleeseen ja sähkökentässä olevasta kappaleesta ihmiseen kipinäpurkauksen tai kosketuksen kautta johtuvan virran tehollisarvoa yhden sekunnin aikana.

Esimerkiksi voimajohdon sähkökentässä voi esiintyä pieniä sähköpurkauksia kosketettaessa maasta eristettyä isokokoista metallinkappaletta kuten kumipyörillä varustettua autoa. Ilmiö on samankaltainen kuin kosketettaessa kuivalla ilmalla staattisella sähköllä varautunutta kappaletta eikä ole terveydelle haitallinen.

3.3 Taloudelliset vaikutukset

STM:n asetuksen uudet suositusarvot eivät aiheuta olemassa oleviin laitteistoihin, laitteisiin tai asennuksiin kohdistuvia uusinwestointitarpeita. Suositusarvot enintään 100 kHz sähkö- ja magneettikentille voivat vaikuttaa voimajohtojen suunnitteluperusteisiin. Tehtyjen mittaus-ten mukaan suositusarvojen ylityksiä olemassa olevien johtojen kohdalla ei yleensä esiinny. Ainoastaan 400 kV johtojen alla mittaus-ten mukaan noin 30 prosentilla pylväsväleistä merkittävän ajan sähkökentän altistusraja 5 kV/m voi ylittyä.

Magneettikenttien osalta yksittäisiä suositusarvojen ylityksiä voidaan kohdata vanhoissa kiinteistömuuntamoissa, jos muuntamo on sijoitettu asunnon alle tai seinän taakse. Säteilyturvakeskus on mitannut joitakin suhteellisen korkeita kentänvoimakkuusarvoja ja suositellut altistuksen rajoittavia teknisiä toimenpiteitä. Säteilyturvakeskuksen tietojen mukaan osassa näistä on omaehtoisesti käynnistynyt toimenpiteitä altistumisen pienentämiseksi.

Asetus ei myöskään aiheuta julkiselle taloudelle välittömästi osoitettavia taloudellisia vaikutuksia. Kuitenkin on huomioitava se, että varsinkin sähkö- ja magneettikenttien mittaukset ja niihin perustuvat altistustason määritykset vaativat korkeatasoista, jopa tieteellisen tason ongelmankäsittelytaitoa. Tällainen vaatii myös taloudellisia panostuksia niin valvontaan kuin sitä tukevaan tutkimukseenkin.

3.4 Asetuksessa (294/2002) esitetyt suositusarvot enintään 100 kHz taajuisille sähkö- ja magneettikentille

Asetuksen pykälässä 5 on esitetty suositusarvoja, jotka on tarkoitettu sovellettavaksi enintään 100 kHz sähkö- ja magneettikenttiä aiheuttavien laitteiden ja laitteistojen suunniteltaessa, sijoitettaessa ja käytettäessä silloin, kun väestön altistumisaika näille kentille on merkittävä.

Staattisen magneettikentän vuontiheyden suositusarvo on 40 mT koko kehon jatkuvalle altistukselle. Sähkö- ja magneettikenttien aiheuttaman kehoon indusoituvan virrantiheyden suositusarvot on esitetty taulukossa 3.1.

Taulukko 3.1. Enintään 100 kHz sähkö- ja magneettikentät. Sähkö- ja magneettikenttien aiheuttaman kehoon indusoituvan virrantiheyden tehollisarvon suositusarvot.

Taajuusalue	Virrantiheys (pää ja vartalo) (mA/m ²)
- 1 Hz	8
1 Hz – 4 Hz	8/f
4 Hz – 1 kHz	2
1 kHz – 100 kHz	f/500

1. Taajuus f sijoitetaan laskentakaavaan hertseinä (Hz).
2. Virrantiheys tarkoittaa keskimääräistä virrantiheyden arvoa sellaista ympyrän muotoista pinta-alkiota kohden, jonka pinta-ala on 1 cm².
3. Virrantiheyden huippuarvo saadaan kertomalla tehollisarvo luvulla $\sqrt{2}$ ($\approx 1,414$).
4. Virrantiheyden suositusarvoja voidaan soveltaa enintään 100 kHz taajuuksilla pulssimaisiin ja laajakaistaisiin virtoihin seuraavasti: Kehoon indusoituvan virrantiheyden painotetun huippuarvon ja suositusarvon suhde R saadaan kaavasta:

$$R = \left| \sum_n \frac{J_n \cos(2\pi f_n t + \theta_n + \varphi_n)}{J_{SA,n}} \right|,$$

missä

t on aika,

n on taajuuskomponentin järjestysluku taajuuteen 50 Hz verrattuna ($n=1, 2, 3, \dots$),

J_n on virrantiheyden taajuuskomponentin tehollisarvo,

f_n on vastaava taajuus,

θ_n vastaava vaihekulma ja

$J_{SA,n}$ on taulukossa 3.1 esitetty virrantiheyden suositusarvo, jota voidaan likimääräisesti kuvata funktiolla

$$J_{SA,n} = K \sqrt{1 + (f_n / f_c)^2},$$

missä

vakio $K=2$ mA/m² on virrantiheyden suositusarvo pienillä taajuuksilla $f_n \ll f_c$ ja $f_c = 1000$ Hz on rajataajuus, jonka yläpuolella suositusarvo kasvaa lineaarisesti taajuuden funktiona.

Painotusfunktion vaihekulma φ_n saadaan yhtälöstä

$$\varphi_n = -\arctan(f_n / f_c).$$

Altistumissuhteen R keskiarvo 10 minuutin aikajaksolla ei saa ylittää arvoa 1.

Taulukossa 3.2 on esitetty suositusarvot sähkö- ja magneettikenttien voimakkuuksien tehollisarvoille ja taulukossa 3.3 suositusarvot kapasitiivisen purkausvirran tehollisarvoille.

Taulukko 3.2. Enintään 100 kHz sähkö- ja magneettikentät. Suositusarvot sähkö- ja magneettikenttien voimakkuuksien tehollisarvoille.

Taajuusalue	Sähkökentän voimakkuus (V/m)	Magneettikentän voimakkuus (A/m)	Magneettivuontiheys (μT)
- 1 Hz	-	$3,2 \cdot 10^4$	$4,0 \cdot 10^4$
1 – 8 Hz	10 000	$3,2 \cdot 10^4/f^2$	$4,0 \cdot 10^4/f^2$
8 – 25 Hz	10 000	$4000/f$	$5000/f$
0,025–0,8 kHz	$250 \cdot 10^3/f$	$4000/f$	$5000/f$
0,8–3 kHz	$250 \cdot 10^3/f$	5	6,25
3–100 kHz	87	5	6,25

1. Taajuus f sijoitetaan laskentakaavaan hertseinä (Hz).
2. Sähkö- ja magneettikentän voimakkuuden huippuarvo saadaan kertomalla sen tehollisarvo luvulla $\sqrt{2}$ ($\approx 1,414$).
3. Sähkö- ja magneettikenttien suositusarvoja voidaan soveltaa enintään 100 kHz taajuuksilla pulssimaisiin ja laajakaistaisiin kenttiin seuraavasti: Kentänvoimakkuuden painotetun huippuarvon ja suositusarvon suhde saadaan kaavasta

$$R = \left| \sum_n \frac{A_n \cos(2\pi f_n t + \theta_n + \varphi_n)}{A_{SA,n}} \right|,$$

missä

t on aika,

n on taajuuskomponentin järjestysluku taajuuteen 50 Hz verrattuna ($n=1, 2, 3\dots$),

A_n on sähkö- tai magneettikentän taajuuskomponentin tehollisarvo,

f_n on vastaava taajuus,

θ_n vastaava vaihekulma ja

$A_{SA,n}$ on taulukossa 3.2 esitetty kentänvoimakkuuden suositusarvo, jota voidaan likimääräisesti kuvata funktiolla

$$A_{SA,n} = K \frac{\sqrt{1 + (f_n / f_c)^2}}{f_n / f_c},$$

missä

vakio K on sähkökentän voimakkuuden ($K=87$ V/m), magneettikentän voimakkuuden ($K=5$ A/m) tai magneettivuontiheyden ($6,25$ μ T) suositusarvo suurilla taajuuksilla $f_n \gg f_c$. f_c on rajataajuus, jonka alapuolella suositusarvo kasvaa lineaarisesti taajuuden funktiona. Sähkökentälle $f_c=3000$ Hz ja magneettikentälle $f_c=800$ Hz.

Painotusfunktion vaihekulma φ_n saadaan yhtälöstä

$$\varphi_n = \pi / 2 - \arctan(f_n / f_c).$$

Altistumissuhteen R keskiarvo 10 minuutin aikajaksolla ei saa ylittää arvoa 1.

Taulukko 3.3. Enintään 100 kHz taajuiset sähkö- ja magneettikentät. Suositusarvot kapasitiivisen purkausvirran tehollisarvoille.

Taajuusalue	Purkausvirta (mA)
- 2,5 kHz	0,5
2,5 kHz – 100 kHz	$0,2 \cdot 10^{-3} f$

1. Taajuus f sijoitetaan laskentakaavaan hertseinä (Hz).
2. Purkausvirta tarkoittaa yhden sekunnin aikana laskettua virran tehollista arvoa.

Jos kehoon kohdistuvaa virrantiheyttä ei voida luotettavasti arvioida, sovelletaan sähkö- ja magneettikenttien voimakkuuksien osalta taulukon 3.2 ja kapasitiivisen purkausvirran osalta taulukon 3.3 suositusarvoja.

Jos altistuminen alle 100 kHz sähkö- ja magneettikentälle ei kestä merkittävää aikaa, sovelletaan taulukon 3.1 mukaisia virrantiheyden suositusarvoja viisinkertaisina.

Jos altistuminen muulle kuin staattiselle magneettikentälle ei kestä merkittävää aikaa eikä kehoon kohdistuvaa virrantiheyttä voida luotettavasti arvioida, sovelletaan taulukon 3.2 mukaisia magneettikentän suositusarvoja viisinkertaisina. Jos altistuminen sähkökentälle ei kestä merkittävää aikaa eikä kehoon kohdistuvaa virrantiheyttä voida luotettavasti arvioida, sovelletaan taulukon 3.2 mukaisia sähkökentän suositusarvoja kolminkertaisina.

3.5 Asetuksessa (294/2002) esitetyt suositusarvot pientaajuisten laajakaistaisten kenttien osalta

Jos altistuminen aiheutuu pientaajuisesta laajakaistaisestä sähkö- tai magneettikentästä (enintään 100 kHz), voidaan altistumisen määrittämisessä soveltaa edellä esitetyissä taulukoissa 3.1 (selitys 4) ja 3.2 (selitys 3) esitettyjä menettelyjä. Jos altistuminen laajakaistaiselle sähkö- tai magneettikentälle ei kestä merkittävää aikaa eikä kehoon kohdistuva virrantiheys ole luotettavasti arvioitavissa, sovelletaan taulukon 3.2 mukaisia suositusarvoja.

Altistumista määritettäessä ei oteta huomioon yksittäisiä sähkölaitteen verkkoon kytkennästä aiheutuvia virran ja jännitteen muutoksia eikä niihin verrattavia satunnaisia nopeasti ohimeneviä virran ja jännitteen muutoksia sähköverkossa.

YDINASIAT

Yhteenveto sosiaali- ja terveysministeriön asetuksesta (294/2002) "ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamisesta"

Asetuksen valmistelussa on käytetty uusimpia kansainvälisiä kannanottoja ionisoimattomasta säteilystä väestölle aiheutuvan altistuksen rajoittamiseksi.

Kansainvälisten asiantuntijaelinten kannanottojen lisäksi asetuksen valmistelussa on käytetty ionisoimattoman säteilyn turvallisuutta koskevia tieteellisiä alkuperäisjulkaisuja sekä kirjallisuuskatsauksia.

Enimmäisarvot ja suositusarvot eivät takaa kehonsisäisesti asennetun herkän sähköisen laitteen, kuten sydämentahdistimen, häiriintymättömyyttä.

ICNIRP:n (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) ohjearvojen ja EU:n (Euroopan unionin neuvoston) suosituksen perustana on, että ne suojaavat kaikilta riittävän hyvin tunnetuilta sähkö- ja magneettikenttien haittavaikutuksilta, kuten hermo- ja lihassolujen stimuloitumiselta kudoksiin indusoituvan sähkövirran vaikutuksesta sekä hyvin pinnallisilta ihovaikutuksilta.

STM:n asetus noudattaa EU:n suositusta eräin poikkeuksin. Muuhun kuin merkittävän ajan kestävään altistumiseen sovellettavat arvot ovat EU:n suosittelemia periaatteita seuraten lievempiä.

Asetuksen uudet suositusarvot eivät aiheuta olemassa oleviin laitteistoihin, laitteisiin tai asennuksiin kohdistuvia uusinvestointitarpeita. Asetus ei myöskään aiheuta julkiselle taloudelle välittömästi osoitettavia taloudellisia vaikutuksia.

Asetuksen mukaan väestön altistuksen suositusarvot käyttötaajuisille (50 Hz) sähkökentälle on 5 kV/m ja magneettikentälle 100 μ T, kun altistuminen kestää merkittävän ajan. Kun altistus ei kestä merkittävää aikaa, arvot ovat 15 kV/m ja 500 μ T. Työntekijöiden osalta on edelleen voimassa STM:n päätös (1474/1991), joka asettaa enimmäisarvot muille paitsi pientaajuisille kentille.

4 SUOMEN SÄHKÖJÄRJESTELMÄ

Suomen sähköjärjestelmä koostuu voimalaitoksista, siirto- ja jakeluverkoista sekä sähkön kulutuslaitteista. Suomen sähköjärjestelmä on osa yhteispohjoismaista Nordel-järjestelmää, johon Suomen lisäksi kuuluvat Ruotsi, Norja ja Itä-Tanska. Lisäksi Venäjältä Suomeen on tasasähköyhteys, jolla maiden erilaiset ominaisuudet omaavat järjestelmät voidaan yhdistää. Tämä mahdollistaa sähkön tuonnin Venäjältä. (Fingrid Oyj, www-viittaus 2003)

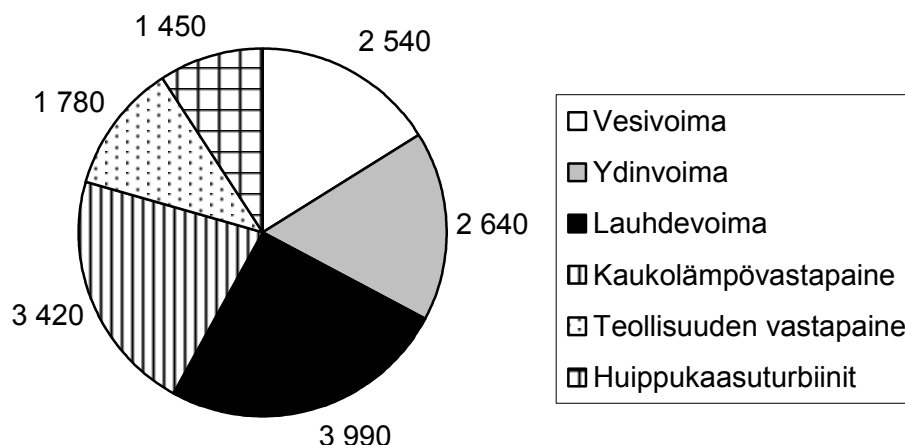
4.1 Sähkön tuotanto

Suomessa käytettiin vuonna 2002 sähköä 84 miljardia kWh (kilowattituntia). Kasvua vuoteen 2001 oli 3 prosenttia eli 3 miljardia kWh. Kasvu johtui lähinnä kotitalouksien ja palvelujen sähkön käytön lisääntymisestä, joka oli noin kuusi prosenttia enemmän kuin vuonna 2001. Teollisuudessa kasvua oli vajaat kaksi prosenttia. (Energia-alan keskusliitto 2003)

Sähkön tuotanto vuonna 2002 jakautui seuraavasti: sähkön ja lämmön yhteistuotanto (CHP) 27 miljardia kWh, ydinvoiman tuotanto 21 miljardia kWh, vesivoiman tuotanto 11 miljardia kWh, lauhdutusvoiman tuotanto 13 miljardia kWh, tuulivoiman tuotanto 0,1 miljardia kWh ja sähkön nettotuonti 12 miljardia kWh. (Energia-alan keskusliitto 2003)

Suomessa sähköenergia tuotetaan pääosin ydin-, lämpö- ja vesivoimalaitoksissa. Lisäksi tuulivoimalaitokset tuottavat pieniä määriä sähköenergiaa. Suomessa huipun aikana yhtäaikaan käytettävissä oleva tuotantokapasiteetti vuoden 2001 alussa oli yhteensä 15 440 MW. Kuvassa 4.1 on esitetty, miten tuotantokapasiteetti jakautui vuoden 2002 alussa.

Kuva 4.1. Suomen sähkön tuotantokapasiteetin jakautuminen vuoden 2002 alussa. (Adato Energia Oy 2001)



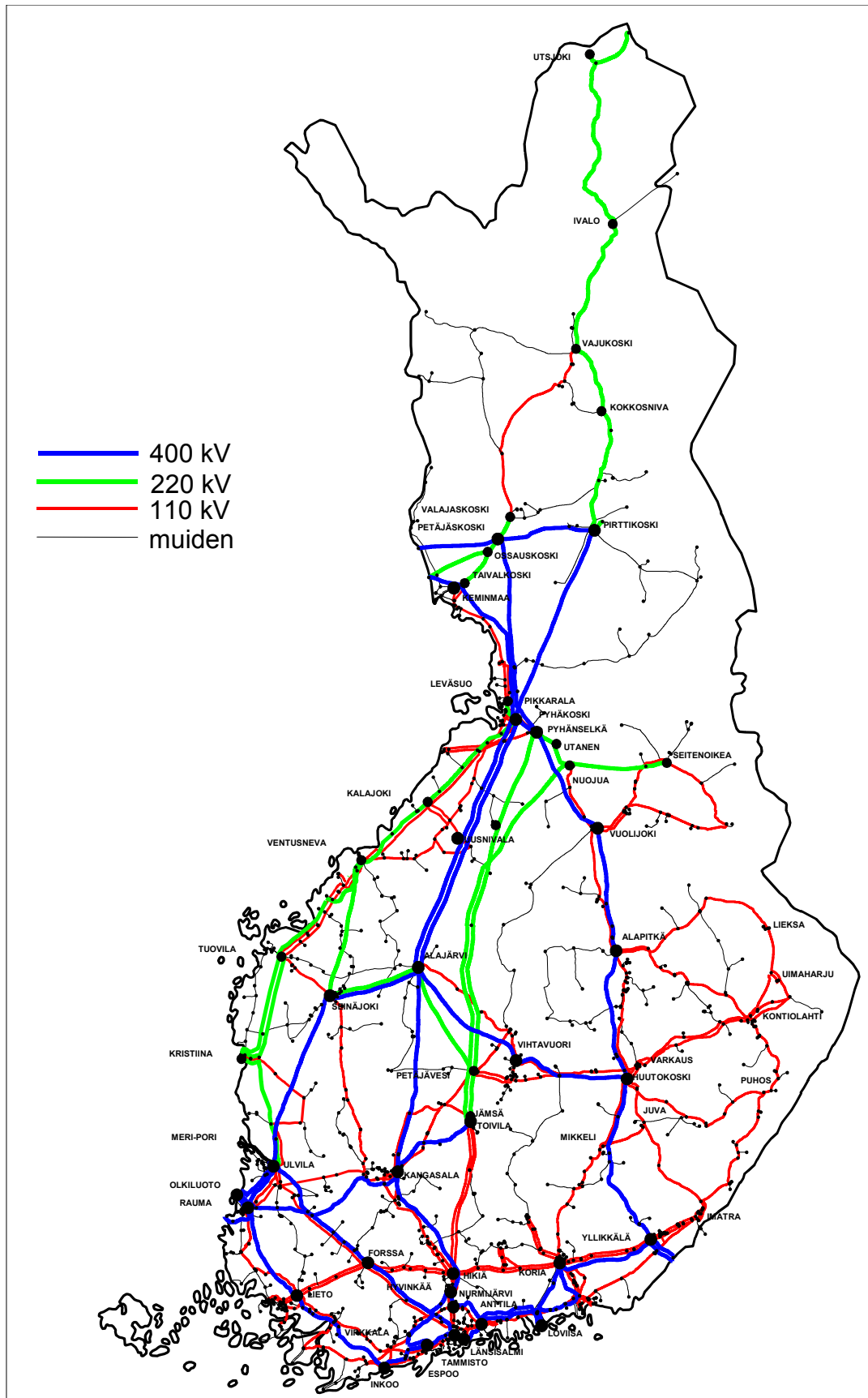
4.2 Sähkön siirto- ja jakeluverkot

Sähköverkot jaetaan käytetyn jännitetason perusteella siirto- ja jakeluverkkoihin. Voimalaitoksilta sähkö siirretään ensin koko maan kattavaan siirtoverkkoon ns. kantaverkkoon. Suomen kantaverkkoon kuuluvat kaikki sellaiset johdot, joiden käyttöjännite on 400 kV tai 220 kV. Lisäksi kantaverkkoon kuuluvat tärkeimmät 110 kV johdot. Loput 110 kV johdot muodostavat ns. alueverkon. Siirtoverkko liittyy jakeluverkkoon sähköasemilla, joista sähkö kulkee eteenpäin ns. keskijänniteverkossa, jonka jännite on yleensä 20 kV. Tavallisille sähkönkäyttäjille jännite muunnetaan keskijännitteestä jakelumuuntamoilla 400 V pienjännitteeksi.

Suomen kantaverkosta vastaa Fingrid Oyj. Sillä on suurjännitteisiä voimajohtoja yhteensä noin 14 000 km ja sähköasemia 100 (Fingrid Oyj 2001). Kuvassa 4.2 on esitetty Suomen kantaverkko vuodelta 2002 ja kuva 4.3 on esimerkki sähköasemasta.

Sähkö toimitetaan käyttäjille jakeluverkon kautta. Kaupungeissa ja taajamissa jakeluverkot on yleensä rakennettu käyttämällä maahan upotettuja kaapeleita. Maaseudulla käytetään yleensä ilma- ja avojohtoja, jotka ovat kustannuksiltaan huomattavasti kaapeleita edullisempia. Vuoden 2003 alussa Suomessa oli 93 jakeluverkon haltijaa, viisi vähemmän kuin vuoden 2002 alussa (Energia-alan keskusliitto, www-viittaus 2003).

Kuva 4.2. Suomen kantaverkko vuodelta 2002. (Fingrid Oyj, www-viittaus 2002)



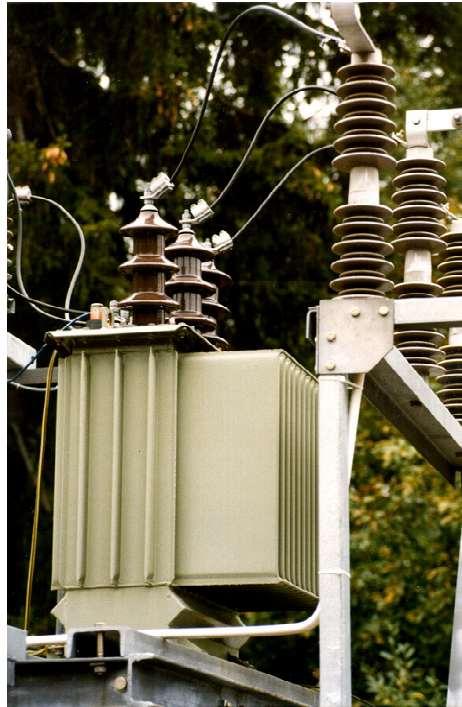
Kuva 4.3. Esimerkki 400 kV sähköaseman pääkiskostosta.



Suomen siirtojohtojen yhteenlaskettu pituus vuonna 2001 oli 21 500 km. Näistä 110 kV johtoja oli 15 200 km, 220 kV johtoja 2 400 km ja 400 kV johtoja 3 900 km. 400 kV kantaverkossa on 57 sähköasemaa ja alueverkoissa 740 sähköasemaa. (Adato Energia Oy 2001)

Keskijännitejohdot syöttävät ns. jakelumuuntamoita. Jakelumuuntamot ovat joko pylväsmuuntamoita, puistomuuntamoita tai rakennuksiin yhdistettyjä ns. kiinteistömuuntamoita. Suomessa on keskijännitejohtoja noin 140 000 km, joista maakaapeleita noin 12 000 km. Jakelumuuntamoita Suomessa oli vuonna 2001 yhteensä noin 126 000, joista rakennusten yhteydessä noin 9100. (Adato Energia Oy 2001) Kuvassa 4.4 on esitetty esimerkkejä pylväsmuuntamoista ja kuvassa 4.5 on puistomuuntamo.

Kuva 4.4. Esimerkkejä keskijänniteverkon pylväsmuuntamoista.



Kuva 4.5. Esimerkki keskijänniteverkon puistomuuntamosta.



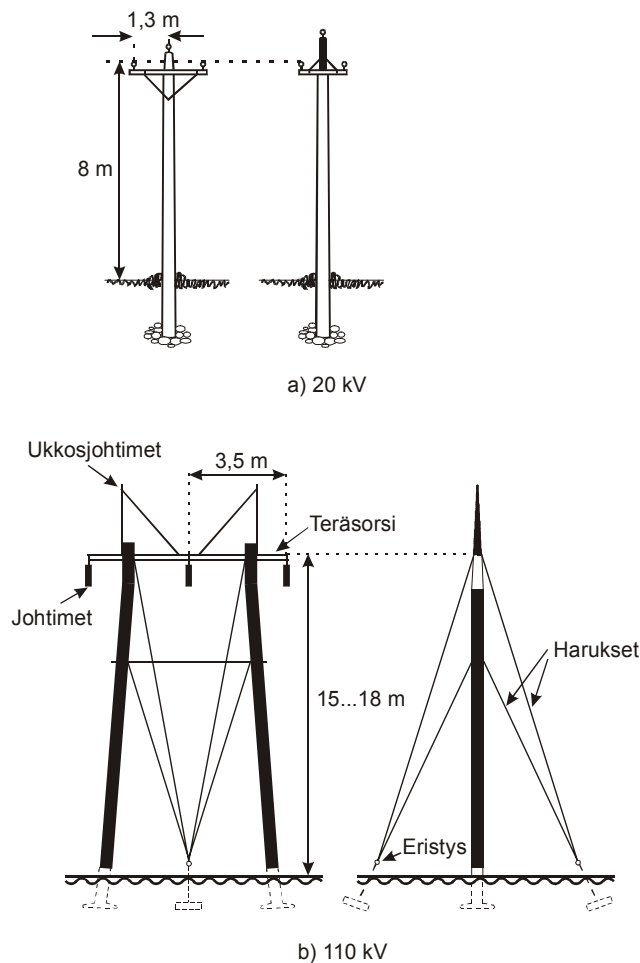
Jakelumuuntamoilta sähkö siirretään asiakkaille pienjännitejohdoissa. Suomessa pienjänniteverkon jännite on yleensä 230 voltia tai 3-vaiheisena 400 voltia. Pienjänniteverkoissa johtoja on noin 220 000 km joista maakaapeleita noin 62 000 km. (Adato Energia Oy 2001)

4.3 Sähköjohdot

Sähköjohdot voidaan jakaa maakaapeleihin ja ilmajohtoihin asennustavan mukaan. Ilmajohdot kiinnitetään pylväisiin kiinnikkeillä. Ilmajohdot ovat joko avojohtoja tai ilmakaapeleita. Kaapelit kulkevat kaapelikanavissa, kaapelihyllyillä tai ne lasketaan suoraan maahan tai veteen. (Elovaara ja Laiho 1988)

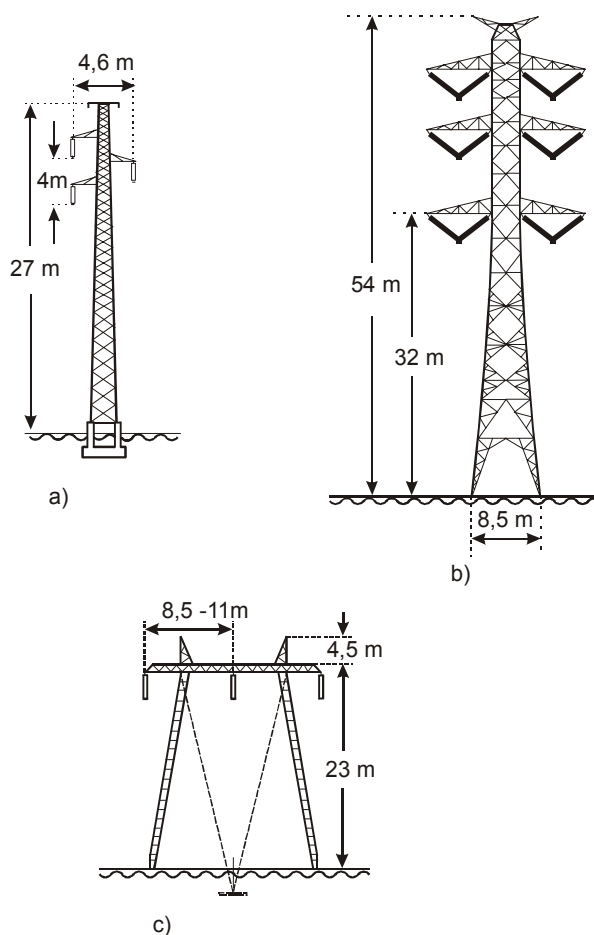
Pylväät tehdään puusta tai teräksestä. Puupylväitä käytetään yleensä 110 kV jännitteeseen asti. Suurimmilla jännitteillä käytetään teräspylväitä. Lisäksi teräspylväitä voidaan keski-jännitteellä käyttää paikoissa, joissa puupylvään korkeus tai lujuus eivät ole riittäviä. Kuvis- sa 4.6 ja 4.7 on esitetty erilaisia pylväsrakenteita.

Kuva 4.6. Puupylväsrakenteita. (Elovaara ja Laiho 1988)



Suomessa voimajohtojen pylväät ovat materiaalista riippumatta yleensä harustettuja portaalipylväitä (kuva 4.7 c). Portaalipylvään etuna on pieni maa-alan tarve pylväälle ja mataluus. Johto ei näy metsäisessä maastossa kuin johtoauekan suunnassa.

Kuva 4.7. Metallipylväsrakenteita a) 110 kV, b) 400 kV c) 400 kV. (Elovaara ja Laiho 1988). Mitat ovat likimääräisiä ja riippuvat tapauksesta sekä olosuhteista.



Taajamissa voimajohdoilla käytetään usein vapaasti seisovia teräsristikkopylväitä. Keski-jännite- ja pienjännitejohdoilla käytetään lähes poikkeuksetta maahan upotettuja I-pylväitä. Ulkomailla käytetään monesti erilaisia pylväitä, mikä on syytä ottaa huomioon sähkö- ja magneettikenttien arvoja vertailtaessa.

YDINASIAT

Suomen sähköjärjestelmä

Suomen sähköjärjestelmä koostuu voimalaitoksista, sähköön siirto- ja jakeluverkoista sekä sähköön kulutuslaitteista.

Suomessa sähköenergia tuotetaan pääosin ydin-, lämpö- ja vesivoimalaitoksissa.

Voimalaitoksilta sähkö siirretään ensin koko maan kattavaan siirtoverkkoon ns. kantaverkkoon.

Siirtoverkko liittyy jakeluverkkoon sähköasemilla, joista sähkö kulkee eteenpäin ns. keskijänniteverkossa, jonka jännite on yleensä 20 kV.

Keskijännitejohdot syöttävät ns. jakelumuuntamoita. Jakelumuuntamot ovat joko pylväsmuuntamoita, puistomuuntamoita tai rakennuksiin yhdistettyjä ns. kiinteistömuuntamoita.

Sähköjohdot voidaan jakaa maakaapeleihin ja ilmajohtoihin asennustavan mukaan. Ilmajohdot kiinnitetään puusta tai teräksestä tehtyihin pylväisiin kiinnikkeillä.

Ulkomailla käytetään monesti erilaisia pylväitä kuin Suomessa. Tämä on syytä ottaa huomioon sähkö- ja magneettikenttien arvoja vertailtaessa.

5 SÄHKÖNSIIRTO- JA JAKELUJOHTOJEN SÄHKÖ- JA MAGNEETTIKENTÄT

5.1 Asetuksen määrittelemät suositusarvot

Uudessa sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamisesta on määritelty suositusarvot pientaajuisille kentille sen mukaan, minkä taajuisista kentistä on kyse. Sähköjärjestelmän osalta taajuus on 50 hertsiä (Hz). Tälle taajuusalueelle on määritelty suositusarvot seuraavasti: kun altistus kestää merkittävän ajan, on suositusarvo, mitä ei saisi ylittää, sähkökentän osalta 5 kV/m ja magneettikentän 100 μ T ja ei merkittävän ajan kestävässä altistuksessa 15 kV/m ja 500 μ T (294/2002). Koska taajuus on sama kaikkialla yhteen kytketyssä vaihtosähköverkossa, mainitut suositusarvot altistumiselle pätevät niin voimansiirtojohtojen, jakelumuuntamoiden kuin yksittäisten sähkölaitteidenkin yhteydessä.

Asetuksessa on lisäksi määritelty suositusarvot sellaiselle tilanteelle, että sähköverkossa on yliaaltoja. Yliaaltoja aiheuttavat varsinkin kyllästyviä kuristimia ja elektroniikkaa sisältävät kulutuskojeet kuten televisiovastaanottimet, tietokonelaitteistot, tasasuuntaajat jne. Myös teollisuusprosessien säädettävissä moottorikäytöissä on usein yliaaltoja aiheuttavia komponentteja.

Yliaaltoja sisältävää kenttää kutsutaan asetuksessa laajakaistaiseksi kentäksi, koska se sisältää useita taajuuksia. Huomattavia yliaaltopitoisuuksia aiheuttavat tilanteet on jätetty monimutkaisuutensa tähden tämän oppaan ulkopuolelle, viitteessä (Jokela 2003) on niitä käsitelty tarkemmin.

Asetuksessa on esitetty suositusarvot myös kapasitiivisen purkausvirran tehollisarvoille. Kapasitiivisella purkausvirralla tarkoitetaan sähkökentässä olevasta varautuneesta henkilöstä maadoitettuun kappaleeseen ja sähkökentässä olevasta kappaleesta ihmiseen kipinäpurkauksen tai kosketuksen kautta johtuvan virran tehollisarvoa yhden sekunnin aikana. (294/2002)

Sähköjärjestelmän osalta purkausvirran tehollisarvo ei saa asetuksen mukaan ylittää arvoa 0,5 mA. (294/2002) Kapasitiivista purkausvirtaa voidaan joutua joskus arvioimaan 400 kV voimajohtojen alla.

5.2 Laskentatuloksia sähkö- ja magneettikentistä erilaisilla pylväillä

Sähkö- ja magneettikenttiä on laskettu ja mitattu erilaisissa tutkimuksissa. Tähän on koottu keskeisimpiä tuloksia.

Harustetulla portaalipylvästyypillä sähkökentän voimakkuus 400 kV johdolla on suurimmillaan 10 kV/m ja 110 kV johdolla alle 2 kV/m. Johtoaukeaman reunassa kentänvoimakkuus on huomattavasti pienempi. (Korpinen ym. 1995)

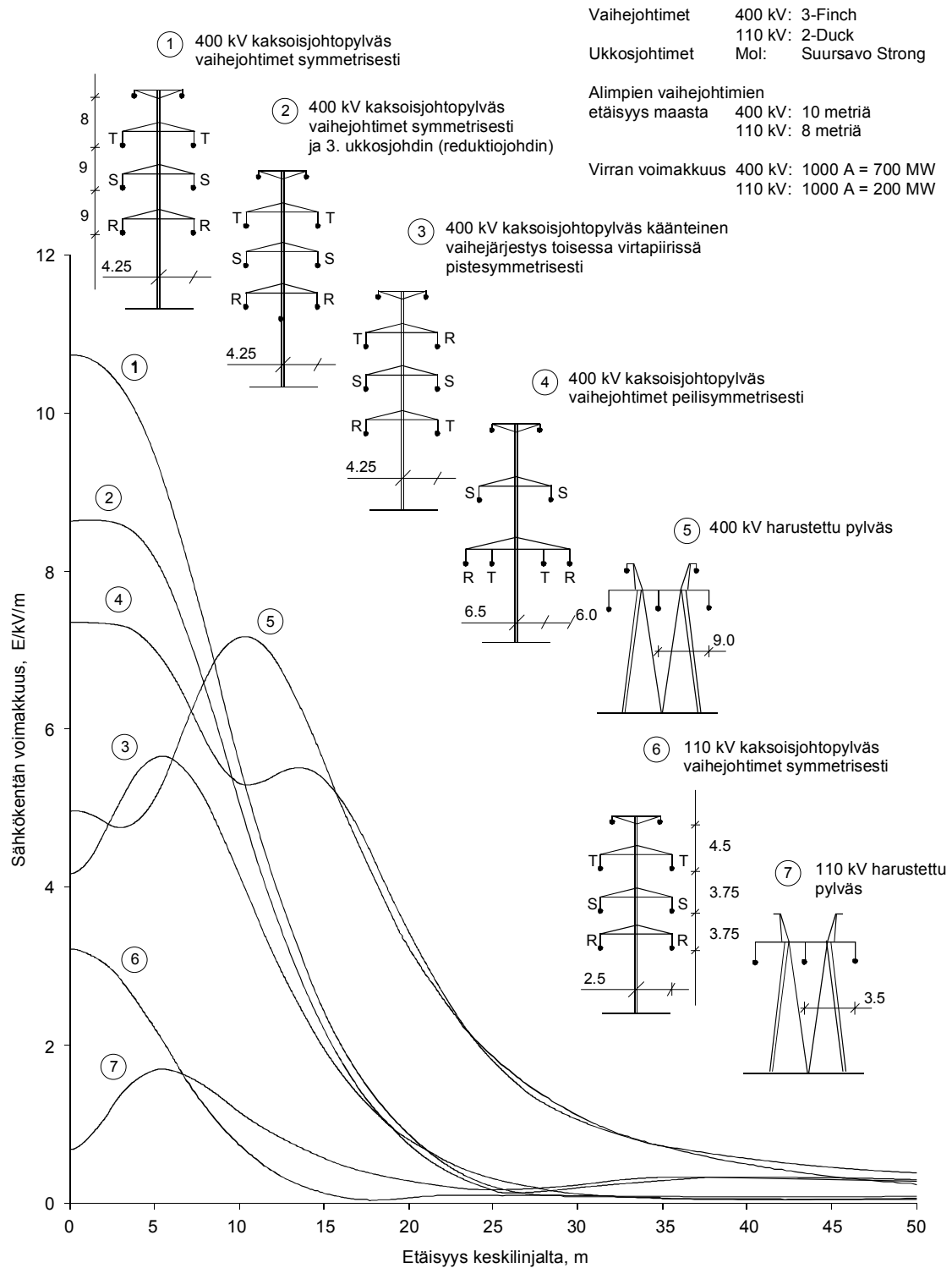
Magneettikentän voimakkuudet riippuvat johdon kuormitusvirroista. 110 kV johdolla suurimmat kuormitusvirrat ovat yleensä 500 A ja 400 kV johdolla 1000 A. Johdon alapuolella, jossa magneettikentän voimakkuudet ovat suurimmillaan, 400 kV johdolla magneettivuon tiheyden suurin arvo on 10 – 30 μ T ja 110 kV johdolla 5 – 8 μ T. (Korpinen ym. 1995)

Kuvassa 5.1 on esitetty sähkökentän voimakkuudet ja kuvassa 5.2 on esitetty magneettivuon tiheys yhden metrin korkeudella maan pinnasta 400 kV ja 110 kV johdon läheisyydessä erilaisilla pylvästyypeillä ja 110 kV johdon läheisyydessä, kun kuormitusvirta on tavallista suurempi 1000 A, kuvat on laskettu viitteen Valjus 1987 avulla. (Korpinen 1990, Valjus 1987)

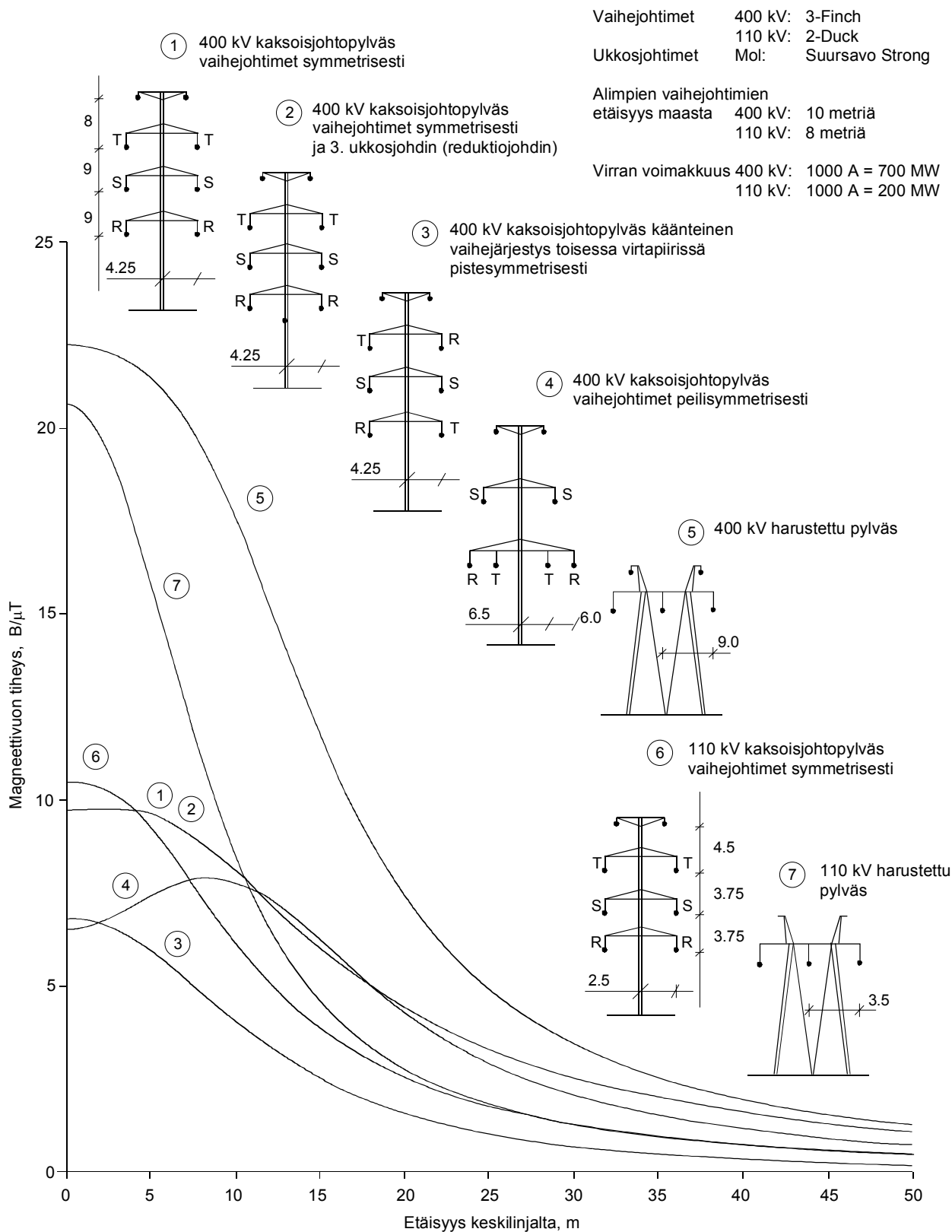
Sähkökentän voimakkuus riippuu jännitteestä. Verkon jännite pysyy varsin samanlaisena verkon käytön ajan. Kuvasta 5.1 voidaan todeta, että kenttä pienenee varsin nopeasti siirryttäessä johdon keskilinjasta pois päin.

Magneettikenttää määritettäessä kuormitusvirta on tärkeä tekijä. Sen vaihdellessa myös magneettikenttä vaihtelee. Kuvasta 5.2 voidaan huomata, että myös magneettikenttä pienenee nopeasti siirryttäessä pylvään keskilinjasta pois päin.

Kuva 5.1. Sähkökentän voimakkuus yhden metrin korkeudella maan pinnasta 400 kV ja 110 kV johdon läheisyydessä erilaisilla pylvästyypeillä. Kuvat on laskettu viitteen Valjus 1987 avulla. (Valjus 1987)



Kuva 5.2. Magneettivuon tiheys yhden metrin korkeudella maan pinnasta 400 kV ja 110 kV johdon läheisyydessä erilaisilla pylvästyypeillä. Kuvat on laskettu viitteen Valjus 1987 avulla. (Valjus 1987)



Tehdyissä laskelmissa on todettu, että yleensä 20 kV keskijänniteverkossa magneettikentän voimakkuudet ovat avojohtojen alla maanpinnalla maksimissaan alle 3 μT . Sähkökentän voimakkuudet vastaavanlaisesta paikasta mitattuna ovat maksimissaan noin 0,1 kV/m. (Korpinen ym. 1995)

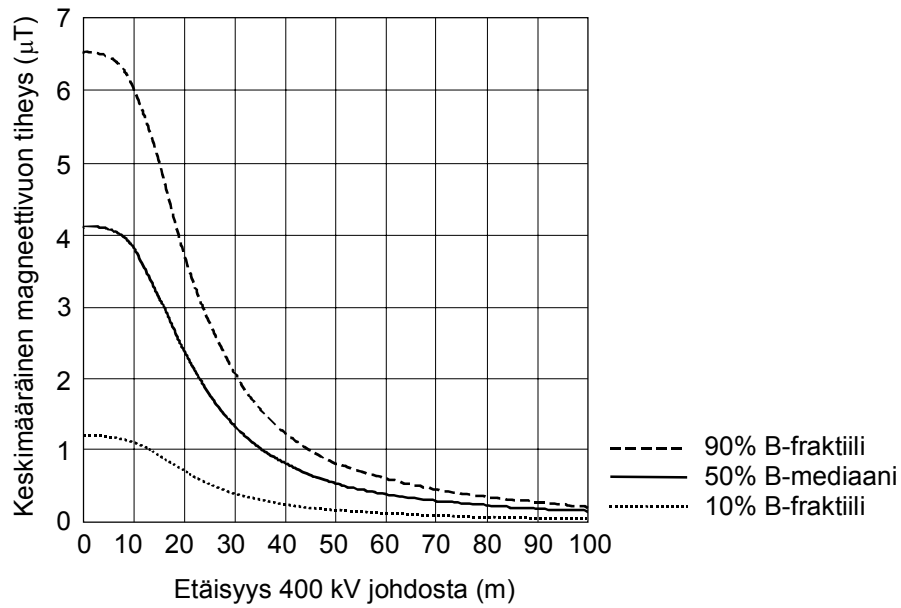
5.2.1 Virran vaihtelun vaikutus magneettikenttiin

Suomessa 400 kV johtojen virrat vaihtelevat 50 - 1200 A välillä. 110 kV johdoilla vastaava vaihteluväli on 0 - 600 A. Vikavirtatilanteissa virrat voivat olla hetkellisesti suurempia. Tutkimusten mukaan magneettivuon tiheys 400 kV johtojen alla on enintään 10 - 20 μT ja noin 30 metrin etäisyydellä johdoista enintään 1 - 4 μT (Anttonen ja Hietanen 1979, Anttonen ja Kalliomäki 1981, Statens energiverk 1986, Valjus 1987, Vattenfall 1986, World Health Organization 1987). Noin 65 metrin etäisyydellä magneettivuon tiheys on lähes aina alle 1 μT .

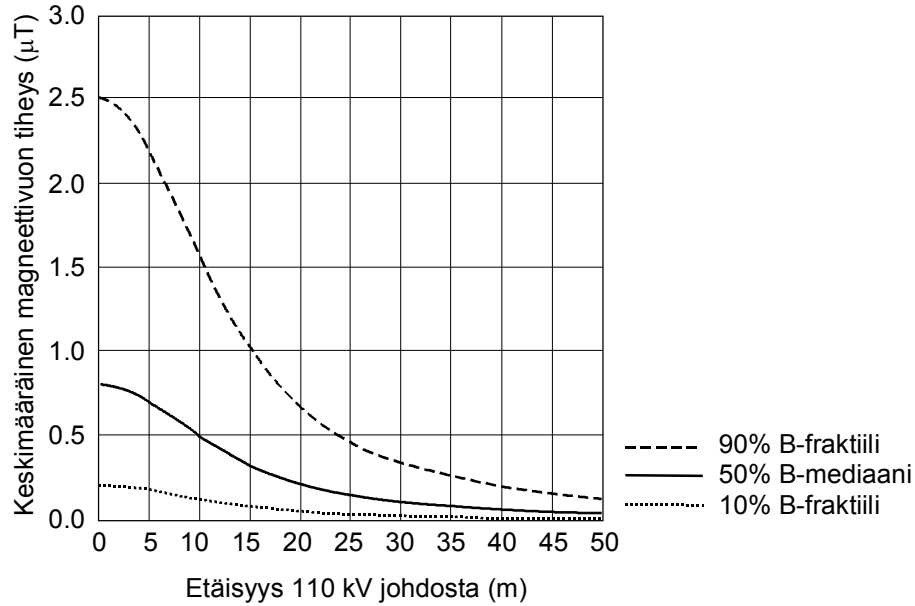
Magneettikenttiä laskettaessa on usein käytetty kuormitusvirran maksimiarvoja. Käytännössä ne ovat varsin harvinaisia. Paremman yleiskuvan magneettikenttien suuruuksista saa tarkastelemalla johtojen virtojen vuosikeskiarvoja. Johtojen läheisyydessä esiintyvät magneettikentät ovat yleensä paljon johtotyyppien maksimivirroilla laskettuja kenttiä pienempiä (Hongisto ja Valjus 1993, Korpinen ym. 1995).

Eri johtojen keskivirroista voidaan laskea eri jännitteisille johdoille tilastolliset fraktiilikäyrät, jotka kuvaavat sitä vaihtelualuetta, millä johtojen keskimääräiset kentät yleensä ovat. Kuvissa 5.3 ja 5.4 on esitetty fraktiilikäyrät 110 kV ja 400 kV johdoille. Kuvissa 80 prosentilla johdoista keskimääräiset magneettikentät ovat ylimmän ja alimman käyrän välisellä alueella. Käyrät on piirretty Imatran Voima Oy:n altistumistutkimuksen voimajohtojen virtajakaumien perusteella (Hongisto 1992, Hongisto ja Valjus 1993, Korpinen ym. 1995). Kuvat perustuvat vuoden 1989 virtoihin, joten ne eivät enää täysin vastaa tämän hetkistä tilannetta, mutta ovat suuntaa-antavia.

Kuva 5.3. Vuoden keskimääräinen magneettivuon tiheys 400 kV johtojen ympäristössä 1989. (Hon-gisto ja Valjus 1993)



Kuva 5.4. Vuoden keskimääräinen magneettivuon tiheys 110 kV johtojen ympäristössä 1989. (Hon-gisto ja Valjus 1993)



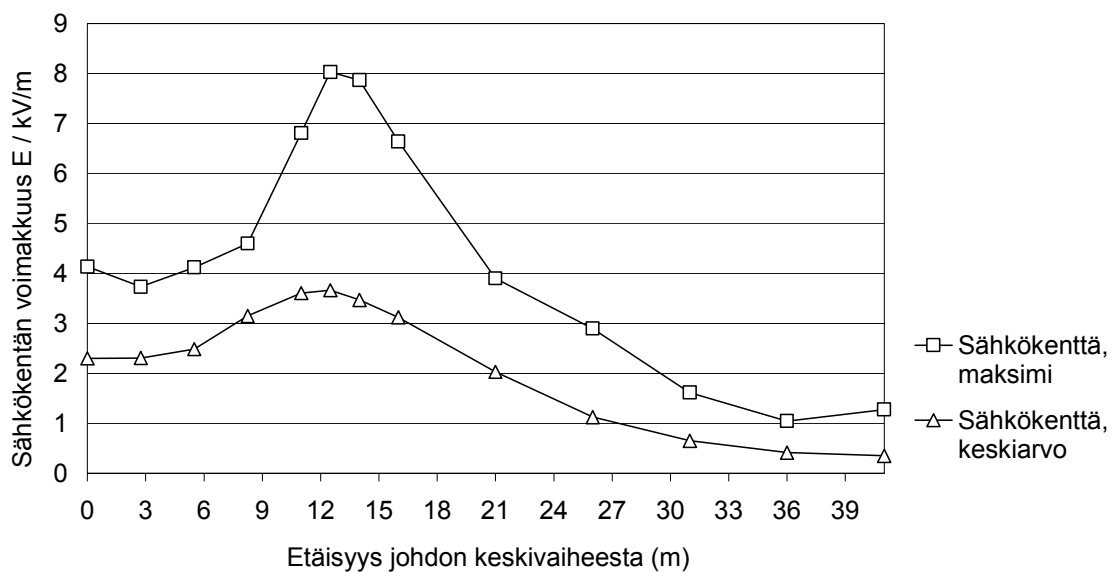
5.3 Mittaustuloksia siirto- ja jakelujohdoilta

5.3.1 400 kV voimajohdot

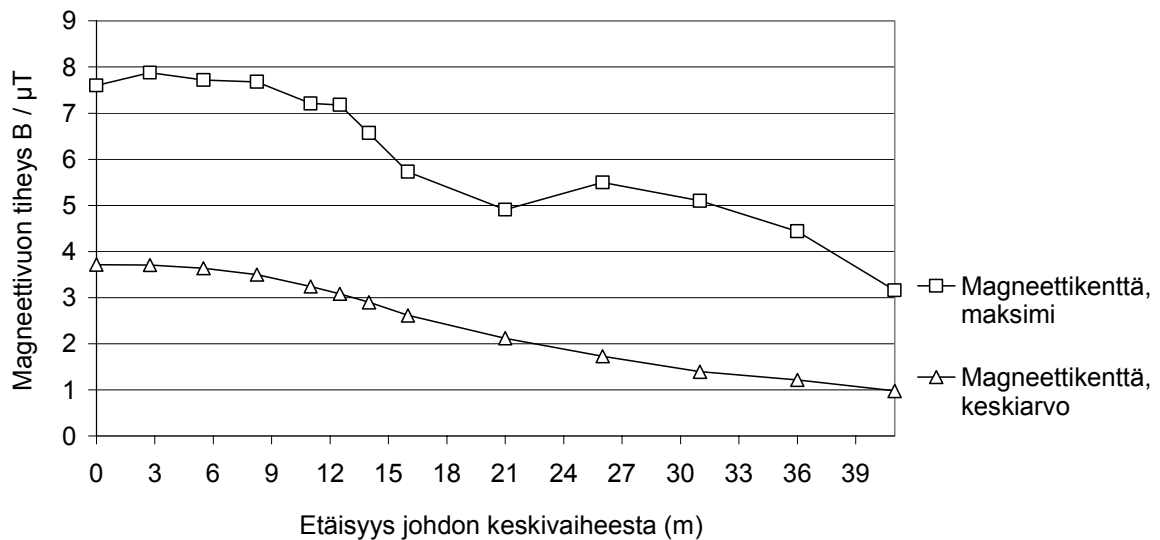
Tampereen teknillisessä yliopistossa (TTY) on mitattu (vuonna 1998) 400 kV voimajohtojen sähkö- ja magneettikenttiä 25 portaali pylväsväliltä (kuva 4.7 c). Mittaukset tehtiin pylväsvälin keskikohdalla ensin johtoa vastaan kohtisuorassa suunnassa ja sen jälkeen johdon suuntaisesti sillä etäisyydellä johdosta, missä saatiin kohtisuoraan mitattuna suurin kentänvoimakkuus. Mittauskorkeus oli yksi metri. (Korpinen ym. 1998)

Kuvassa 5.5 on esitetty yhteenveto sähkökentän voimakkuuden tuloksista ja kuvassa 5.6 yhteenveto magneettivuon tiheyden tuloksista niistä pylväsväleistä, joissa mittaukset on tehty samalla tavalla. Verraten suuret vaihtelut suurimpien ja pienimpien mitattujen kentänvoimakkuus- ja vuontiheysarvojen välillä johtuvat sekä avojohdojen rakenteellisista eroista että ennen kaikkea maan pinnan paikallisista vaihteluista. Sähkökentän tapauksessa myös johdon alla ja lähistöllä kasvava kasvillisuus vaikuttaa mittaustulokseen.

Kuva 5.5. Yhteenveto: Sähkökentät (maksimi- ja keskiarvot) avojohtoa vastaan kohtisuorissa mittauksissa (mittausten määrä 21). Mitattujen avojohdojen jännitteet vaihtelivat mittauksissa välillä 391 – 408 kV. Kuvan etäisyydet on laskettu 11 m vaihevälän mukaan. Etäisyyksissä on epätarkkuutta vaihevälän vaihtelusta johtuen.



Kuva 5.6. Yhteenveto: Magneettikentät (maksimi- ja keskiarvot) avojohtoa vastaan kohtisuorissa mittauksissa (mittausten määrä 21). Mitattujen avojohtojen virrat vaihtelivat välillä 57 – 652 A ja jännite välillä 391 – 408 kV. Kuvan etäisyydet on laskettu 11 m vaihevälin mukaan. Etäisyyksissä on epätarkkuutta vaihevälin vaihtelusta johtuen.

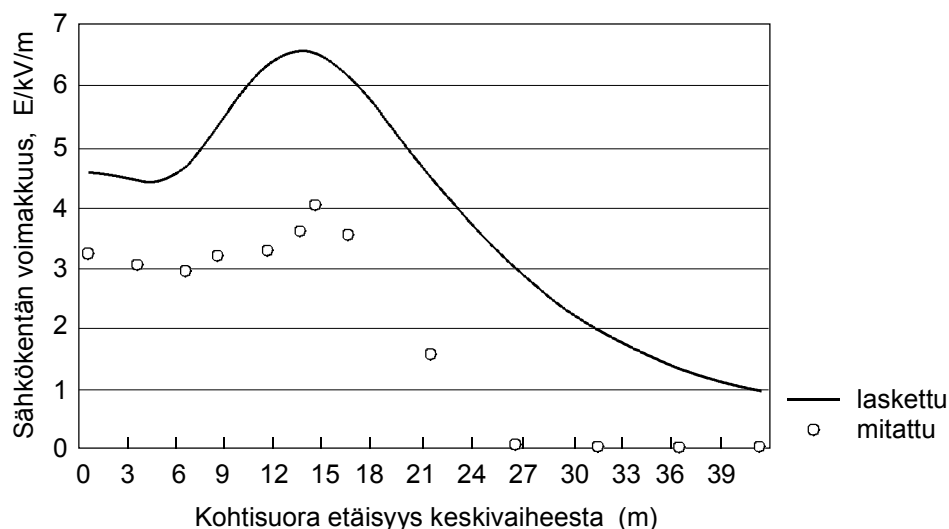


Tarkasteltaessa kuvan 5.6 magneettikenttätuloksia tulee ottaa huomioon se, että pylväsvälit on valittu ensisijaisesti sähkökenttäaltistuksen näkökulmasta, sillä sähkökenttäarvot ovat magneettikenttäarvoja lähempänä STM:n ja EU:n neuvoston suositusarvoja. (1999/519/EY, 294/2002)

TTY:ssä on tehty myös tutkimuksia siitä, miten pylväsvälillä oleva kasvillisuus vaikuttaa sähkökenttään (Suojanen ym. 2000, Halinen ym. 2001). Kasvillisuuden vaikutus sähkökenttään tulee hyvin esiin kuvan 5.7 esimerkkipylväsvälillä.

Pylväsvälillä kasvillisuus oli vaihtelevaa. Osittain maasto oli tasaista ja välillä kasvoi 30-40 senttimetriä korkeaa heinikkoa, osittain välillä oli kalliota ja yksittäisiä puita tai puuryhmiä. Kuvassa 5.7 on esitetty pylväsvälin kohtisuoran suunnan mittaustulokset ja vastaavat laskennan tulokset.

Kuva 5.7. Mitattu ja laskettu sähkökentän voimakkuus kohtisuorassa suunnassa esimerkkipylväsvälillä. (Suojaanen ym. 2000)



Kuvan 5.7 mittaustulokset poikkeavat selvästi vastaavista lasketuista arvoista. Vaihejohtimien alla kasvoi noin 30-40 senttimetriä korkeaa heinikkoa. 26 metrin päässä mittauksen aloituskohdasta on noin 15 metriä korkean kuusimetsän reuna. Vastaavassa kohdassa nähdään, että mittaustulokset laskevat lähes olemattomiksi.

Kasvillisuuden vaikutus on tärkeää ottaa huomioon, kun mittaus- ja laskentatuloksia verrataan keskenään.

5.3.2 Muut johdot

110 kV ja 20 kV avojohtojen osalta TTY:ssä mittauksia on tehty vähemmän kuin 400 kV avojohtojen kohdalla. Mittaukset on tehty vastaavasti kuin 400 kV avojohtojen mittaukset, mutta mittauspisteitä on ollut vähemmän pienempien pylväsetäisyyksien tähden. Taulukoiden 5.1 ja 5.2 tulokset on otettu viitteestä (Korpinen 2000).

Taulukko 5.1. Esimerkkejä 110 ja 20 kV johtojen magneettikenttien mittaustuloksista. (Korpinen 2000)

Jännite U / kV	Johtotyyppi	Virta I / A	Suurin B / μT
110	Avojohto, portaalipylväs	348	5,8
20	Avojohto I-pylväs	26-145	0,2-0,8
20	Päällystetty avojohto	56	0,1
20	Riippukierrejohto	36	0,1
20	Päällystetty kaksoisavojohto	262-274*	0,6
20	Maakaapeli	33-104	0,1-0,2

* summavirta

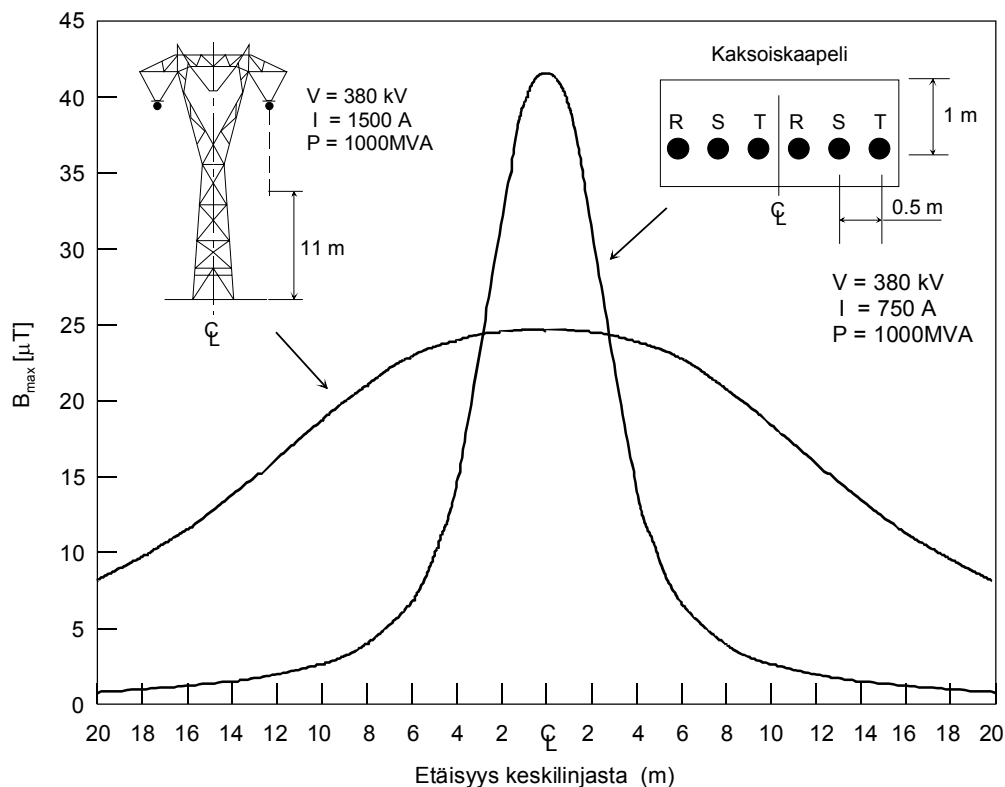
Taulukko 5.2. Esimerkkejä 20 kV johtojen sähkökenttien mittaustuloksista. (Korpinen 2000)

Jännite U / kV	Johtotyyppi	Jännite U / kV	Suurin E / kV/m
20	Avojohto I-pylväs	20,5	0,1
20	Päällystetty avojohto	20,4	0,1
20	Riippukierrejohto	20,7	0

Mittaustulosten osalta on huomattava, että magneettivuon tiheys riippuu mittausetäisyyden lisäksi voimakkaasti johdon rakenteesta. Avojohtojen välillä saattaa olla rakenne-eroja, vaikka johdot kuuluisivatkin samaan peruskategoriaan. Niinpä taulukon 5.1 virta- ja vuontiheysarvojen välillä ei ole täysin yksikäsitteistä riippuvaisuussuhdetta. Päällystetyissä avojohdoissa ja riippukierrejohtojohdoissa virtajohtimen ympärillä on eristekerros, joka mahdollistaa johdon vaihevälien (so. johtimien välisen keskinäisen etäisyyden) pienentämisen paljailla johtimilla rakennettuun avojohtoon nähden. Vaihevälin pienentämisen vaikutus ilmenee alentuneena magneettivuon tiheytenä ja sähkökentän voimakkuutena.

Kirjallisuudessa on vertailtu tilannetta, miten magneettikentät eroavat, jos vaihtoehtoisesti käytetään kaapelia ilmajohdon asemesta. Kuvassa 5.8 on tällaisesta tilanteesta esimerkki.

Kuva 5.8. 380 kV ilmajohdon ja kaksoismaakaapelin aiheuttamien magneettikenttien suuruus (tarkastelupiste 1 m maanpinnan yläpuolella) (Conti ym. 1996).



Kuvasta nähdään, että kaapeleiden kenttä vaimenee selvästi nopeammin etäisyyden kasvaessa kuin avojohdon kenttä. Kaapelin kuormitettavuus on pienempi kuin avojohdon; esimerkiksi yhden Finch-johtimen korvaamiseen tarvitaan ainakin kaksi 1-vaihekaapelia. Kaapeli ei pysty rajoittamaan magneettikentän tunkeutumista ympäristöön. Ainoastaan silloin, jos kaapelin vaippa maadoitetaan molemmista päistään tai kaapeli asennetaan putkeen (johon voi indusoitua ulostunkeutuvaa magneettivuota rajoittava virta), rajoittaminen on mahdollista. Magneettikentän rajoittaminen kaapelin vaipan tai asennustavan avulla merkitsee lisähäviöitä verkkoon. Suurjännitekaapelit ovat metallivaippaisia, joten ne eivät päästä sähkökenttää leviämään vaipan ulkopuolelle. (Elovaara 2003)

Yhteenvetona TTY:n mittauksista voidaan todeta, että asetuksen mukainen sähkökenttäraja 5 kV/m pitkäaikaiselle altistukselle ylittyy noin 30 prosenttia 400 kV voimajohdoista johdon alla. Korkeimmat arvot jäävät kuitenkin 10 kV/m tason alapuolelle eli asetuksen suosittelema raja-arvo ei merkittävän ajan kestäväälle altistukselle 15 kV/m ei ylity. Johtoalueen ulkopuolella alimmatkaan suositusarvot eivät enää ylity. Myöskään 110 ja 20 kV johdoilla ei esiinny suositusarvojen ylityksiä. Arvot ovat huomattavasti alle suositusarvojen. Nämä tulokset on otettu huomioon jo asetusta valmistellessa. Asetuksen työryhmämuistiossa on todettu, ettei asetuksen seurauksena ole tarvetta rajoittaa voimajohtojen alla esimerkiksi marjojen poimimista, maaviljelyä tai metsätöiden tekemistä. (294/2002)

5.4 Asetuksen merkitys 400 kV, 220 kV ja 110 kV voimajohtoihin liittyviin maankäyttö- ja kaavoituskysymyksiin

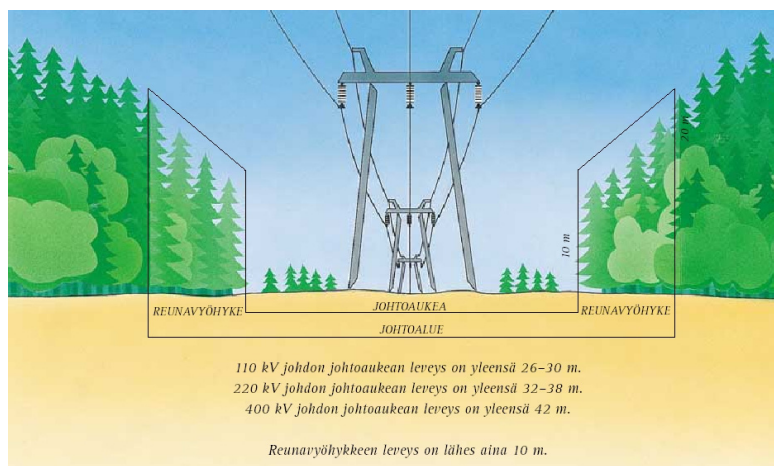
Kun arvioidaan asetuksen merkitystä maankäyttöön ja kaavoitukseen, tulee tarkastelun kohteeksi vanhat, jo olemassa olevat johdot ja uudet rakennettavat johdot.

5.4.1 Olemassa olevat johdot

Olemassa olevilla johdoilla asetuksessa esitetyt suositusarvot magneettikenttien osalta eivät ylitä johtoalueilla (kuvassa 5.9 on esitetty piirros johtoalueesta). Kuten edellä kerrottiin, sähkökentän arvo 5 kV/m pitkäaikaiselle altistumiselle (merkittävä aika) ylittyy mittausten mukaan noin 30 prosentissa 400 kV jännitteisten avojohdojen pylsäväleistä johdon alla. 110 kV ja 220 kV jännitteisillä avojohdoilla sähkökentän suositusarvot eivät ylitä. Ottaen huomioon, että avojohdojen alla ei oleskella merkittävää aikaa, suositusarvot sähkö- ja magneettikentille eivät ylitä johtoalueella ja sen ulkopuolella. Vahvavirtailmajohdomääräysten (Sähkötarkastuskeskus 1986) mukaan lämmitettäviä rakennuksia ei edes ole saanut rakentaa johdon alle.

Asetus ei edellytä kaavoituksessa jättämään suojaa- aluetta johtoalueen ulkopuolelle. Kuitenkin asuntoja kaavoitettaessa olisi hyvä ottaa huomioon ihmisten mahdollisten terveysvaikutushuolien tähden. Lisäksi olisi suotavaa, ettei ylimääräistä toimintaa kaavoiteta voimajohtoalueelle. Voimajohtoalueelle kaavoittamisen edellytyksenä joka tapauksessa on, että asiasta on sovittu myös maanomistajien ja johdonomistajien kanssa. Vahvavirtailmajohdomääräykset (Sähkötarkastuskeskus 1986) ja sen korvaava euronormi (EN 50341) asettavat myös omat vaatimuksensa.

Kuva 5.9. Esimerkki piirros johtoalueesta. Kuva on peräisin Fingrid Oyj:n esitteestä. (Fingrid Oyj 2001)



5.4.2 Uusien johtojen rakentaminen

Kun aiotaan rakentaa jännitteeltään vähintään 110 kV voimajohto, hankitaan tarvittavat johtoalueet pääsääntöisesti voimassa olevan lunastuslain (603/1977) mukaan. Joissakin tapauksissa lupa hankitaan maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) perusteella tai kahdenkeskisinä sopimuksilla maanomistajien ja johdonomistajan kesken.

Lunastuksessa johtoalue jää maanomistajan omistukseen. Johdonomistaja saa alueeseen käyttöoikeuden. Valtioneuvoston antamassa lupapäätöksessä määritetään muun muassa johtoalueeseen sisältyvien johtoauean sekä reunavyöhykkeiden leveydet sekä rakennuskieltoalueen laajuus. Rakennuskieltoalue ei ulotu johtoalueen ulkopuolelle, joten johdon omistajalla ei ole oikeutta estää johtoalueen ulkopuolella tapahtuvaa toimintaa, ellei se ole vaaraksi johdon käytölle.

Suomessa ei ole olemassa virallisia voimajohtojen sijoittamista koskevia ohjeita, mutta johtoja suunniteltaessa yleensä pyritään siihen, ettei niitä rakenneta esimerkiksi asuntojen, päiväkotien, leikkikenttien tai koulujen läheisyyteen. Tämä perustuu muun muassa siihen, että julkisessa keskustelussa esiintyvät käsitykset avojohtojen aiheuttamista mahdollisista terveyshaitoista saattavat huolestuttaa ihmisiä.

Uusi STM:n asetus ei aseta vaatimuksia muuttaa nykyisiä toimintatapoja.

YDINASIAT

Sähkönsiirto- ja jakelujohtojen sähkö- ja magneettikentät

Harustetulla portaalipylvästyypillä sähkökentän voimakkuus 400 kV johdolla on suurimmillaan 10 kV/m ja 110 kV johdolla alle 2 kV/m. Johtoaukeaman reunassa kentän voimakkuus on huomattavasti pienempi.

Magneettikentän voimakkuudet riippuvat johdon kuormitusvirroista. 110 kV johdolla suurimmat kuormitusvirrat ovat yleensä 500 A ja 400 kV johdolla 1000 A. Johdon alapuolella, jossa magneettikentän voimakkuudet ovat suurimmillaan, 400 kV johdolla magneettivuon tiheyden suurin arvo on 10 – 30 μT ja 110 kV johdolla 5 – 8 μT .

Verraten suuret vaihtelut suurimpien ja pienimpien mitattujen kentänvoimakkuus- ja vuontiheysarvojen välillä johtuvat sekä avojohtojen rakenteellisista eroista että ennen kaikkea maan pinnan paikallisista vaihteluista. Sähkökentän tapauksessa myös johdon alla ja lähitöllä kasvava kasvillisuus vaikuttaa mittaustulokseen.

Yhteenvetona TTY:n mittauksista voidaan todeta, että asetuksen mukainen sähkökenttäraja 5 kV/m pitkäaikaiselle altistukselle ylittyy noin 30 prosenttia 400 kV voimajohdoista johdon alla. Korkeimmat arvot jäävät kuitenkin 10 kV/m tason alapuolelle eli asetuksen raja-arvo ei merkittävän ajan kestäväälle 15 kV/m ei ylity. Magneettikentät ovat selvästi suositusarvoja pienempiä. Johtoalueen ulkopuolella alimmatkaan suositusarvot eivät ylity. Myöskään 110 ja 20 kV johdoilla ei esiinny suositusarvojen ylityksiä.

Asetus ei edellytä kaavoituksessa jättämään suojaa-alueita johtoalueen ulkopuolella. Kuitenkin asuntoja kaavoitettaessa olisi hyvä ottaa kentät huomioon ihmisten mahdollisten terveyshuolien tähden.

Olisi suotavaa, ettei ylimääräistä toimintaa kaavoiteta voimajohtoalueelle. Voimajohtoalueelle kaavoittamisen edellytyksenä joka tapauksessa on, että asiasta on sovittu myös maanomistajien ja johdonomistajien kanssa.

Suomessa ei ole olemassa virallisia voimajohtojen sijoittamista koskevia ohjeita, mutta johtoja suunniteltaessa yleensä pyritään siihen, ettei niitä rakenneta esimerkiksi asuntojen, päiväkotien, leikkikenttien tai koulujen läheisyyteen. Tämä perustuu muun muassa siihen, että julkisessa keskustelussa esiintyvät käsitykset avojohtojen aiheuttamista mahdollisista terveyshaitoista saattavat huolestuttaa ihmisiä.

Uusi STM:n asetus ei aseta vaatimuksia muuttaa nykyisiä toimintatapoja.

6 RAKENNUSTEN SÄHKÖ- JA MAGNEETTIKENTÄT

Rakennuksia tarkasteltaessa keskeisimpiä asetuksen näkökulmasta ovat sellaiset tilat, joissa ihmiset altistuvat sähkö- ja magneettikentille. Tällöin tarkastelun kohteeksi nousevat erilaiset asuinrakennukset ja niissä esiintyvät kentät. Talon oma sähköjärjestelmä ja erilaiset sähkönkulutuskojeet aiheuttavat ympärilleen sähkö- ja magneettikenttiä. Lisäksi joissakin rakennuksissa on sijoitettuna kiinteistömuuntamo, joka voi myös aiheuttaa yläpuolella tai vieressä olevaan tilaan tavallista isomman magneettikentän.

6.1 Asetuksen määrittelemät suositusarvot

Myös rakennuksissa pätevät aikaisemmin mainitut 50 Hz suositusarvot, sähkökentän osalta 5 kV/m ja magneettikentän osalta 100 μ T (altistuminen kestää merkittävän ajan) ja 15 kV/m sekä 500 μ T (altistuminen ei merkittävän ajan kestävä), joita ei saisi ylittää. Myös laajakaistaisia magneettikenttiä joudutaan tarkastelemaan. Säteilyturvakeskus on tehnyt erikseen ohjeen rakennusten magneettikenttien mittaamisesta (Jokela 2003). Ohjeessa myös laajakaistaisuus otetaan huomioon.

Uusi STM:n asetus ei aseta vaatimuksia muuttaa nykyisiä toimintatapoja rakennusten sähköjärjestelmien osalta. Rakennuksien yhteyteen voidaan sijoittaa muuntamoita, mutta niiden suunnittelussa on hyvä ottaa sähkö- ja magneettikentät huomioon, etteivät muuntamon kentät huomattavasti nosta kenttäaltistusta rakennuksessa.

6.2 Mittaustuloksia kiinteistömuuntamoiden lähellä olevien tilojen magneettikentistä

Rakennusten sähkökentät ovat varsin pieniä, joten tässä keskitytään magneettikenttiin. TTY:ssä on tehty mittauksia kiinteistömuuntamojen lähellä olevissa tiloissa. Mittauksia on tehty eri korkeuksilla, koska mittausohjetta ei ollut vielä olemassa mittauksia tehtäessä. Mittauskorkeutena on ollut 0 m, 1 m ja 2 m lattiasta. Lisäksi mittauksissa ei ole otettu huomioon laajakaistaisia magneettikenttiä, joten tulokset ovat tältä osin puutteellisia. Taulukossa 6.1 on esitetty saatuja tuloksia.

Taulukko 6.1. Kiinteistömuuntamoiden lähellä olevista tiloista mitatut magneettikenttien suurimmat arvot. (Korpinen 2000, Keikko 2003)

Muuntamon numero	Teho / kVA	Virta / A	Muuntamoon nähden	Magneettivuon tiheyden suurimmat arvot $B_{max}(h)$ / μT etäisyydellä h		
				0 m	1 m	2 m
1	800	730	Yläpuolella	41,6	5,5	2,0
2	1000	331	Yläpuolella	2,4	0,6	0,4
3	800	382	Yläpuolella	17,5	4,2	1,9
4	800	975	Yläpuolella	26,2	3,8	1,9
5	1000	428	Sivulla	0,4	0,3	0,4
6	700	505	Yläpuolella	7,9	1,6	0,7
7	500	138	Yläpuolella	0,9	0,5	0,4
8	500	511	Yläpuolella	7,0	2,2	3,3
9	500	356	Yläpuolella	6,2	2,1	1,3
10	800	246	Yläpuolella	1,3	0,4	0,2
11*	800/1000/500	652	Yläpuolella	22,5	3,9	
12	800	355	Yläpuolella	1,1	0,7	0,4
13	1000/1000	251+588	Yläpuolella	53,4	12,5	3,6

* kolme muuntajaa, joista 800 kVA muuntajan yläpuolella tehty mittaus

Myös kuormitusvirrat vaihtelevat paljon esimerkiksi vuorokauden aikana, joten hetkittäiset arvot, joita taulukossa on esitetty, eivät anna täydellistä kuvaa tilanteesta.

Taulukon 6.1 tuloksista voidaan todeta, että kaikissa TTY:n tekemissä mittauksissa on jääty alle asetuksen käyttöaajuisten (50 Hz) suositusarvojen 100 μT ja 500 μT , mutta laajakaislaisten magneettikenttien vaikutusta ei ole arvioitu, joten ilman tarkempia mittauksia kaikista muuntamoista ei voida olla täysin varmoja, etteikö STM:n asetuksen suositus laajakaislaisten magneettikenttien osalta voisi ylittyä.

Yksittäisiä suositusarvojen ylityksiä on Säteilyturvakeskuksesta saadun tiedon mukaan todettu joissakin vanhoissa kiinteistömuuntamoissa, joissa muuntamo on ollut sijoitettuna asunnon alle tai seinän taakse. Säteilyturvakeskus on jo aikaisemmin suositellut altistusta rajoittavia toimenpiteitä tällaisissa tapauksissa.

Mielenkiintoinen yksityiskohta taulukossa 6.1 on muuntamon 8 mittaus, jossa vuontiheys alkaa lopulta kasvaa, vaikka etäisyys muuntamosta kasvaa. Tässä tapauksessa vuontiheyden suuruus määräytyy enemmän mittauspaikassa vaikuttavista taustakentistä kuin itse muuntamon kentästä. Taustakenttiä aiheuttavat muun muassa kaikissa maadoitetuissakin metallirakenteissa mahdollisesti kulkevat epäsymmetriavirrat.

Rakennusten oman sähköjärjestelmän magneettikentät ovat huomattavasti alle suositusarvojen.

Helsingin Energian on teettänyt tutkimuksen, jossa on tutkittu pientaajuisia magneettikenttiä ja kiinteistömuuntamoja. Tutkimuksen yhtenä tavoitteena oli selvittää kiinteistömuuntamoiden läheisyydessä olevien asuinhuoneistojen lukumäärää. Tutkimuksen mukaan 35 pro-

senttia Helsingin alueen kiinteistömuuntamoista sijaitsee asuinhuoneistojen välittömässä läheisyydessä (Hämäläinen 2002).

6.3 Kodeissa esiintyviä sähkö- ja magneettikenttiä

Kotitalouksissa merkittävimmät magneettikentän lähteet ovat rakennuksen sisällä rakennuksen oma sähköverkko, kolmivaihejärjestelmän epäsymmetriavirrat ja metalliputkistoissa kulkevat virrat. Usein asuntojen taustakentän voimakkuus aiheutuu juuri näistä kentistä. Mikäli rakennus on hyvin lähellä, alle 50 m, 400 kV voimajohtoja voi johdosta aiheutuva magneettikenttä olla suurempi kuin rakennuksen taustakentän voimakkuus. Taustakentän voimakkuus on yleensä alle 0,1 μT harvoin yli 1,0 μT (Hänninen ja Valjus 1988, Korpinen 1990).

TTY:ssä on tehty joissakin asunnoissa mittauksia. Mittaukset kuvaavat hetkittäisiä tilanteita. Mittaustilanteessa ei ole erityisesti kytketty sähkölaitteita päälle, joten arvot voivat olla suurempia, kun laitteiden käyttöastetta lisätään. Taulukossa 6.2 on esitetty yhteenveto kotien mittaustuloksista.

Taulukko 6.2. Yhteenveto kotien mittaustuloksista. Mittaukset on tehty yhden metrin korkeudella lattiasta. (Sauramäki ym. 2002)

Asunto	Suurin arvo, magneettikenttä B , μT	Suurin arvo, sähkökenttä E , kV/m
1. Kerrostalohuoneisto	0,1	0
2. Kerrostalohuoneisto	0,2	0
3. Kerrostalohuoneisto	0,1	0
4. Kerrostalohuoneisto	0,4	0,1
5. Kerrostalohuoneisto*	2,9	0
6. Kerrostalohuoneisto*	1,6	0
7. Kerrostalohuoneisto	0,2	0
8. Kerrostalohuoneisto	0,1	0
9. Kerrostalohuoneisto	0,2	0
10. Kerrostalohuoneisto	0,1	0,1
11. Omakotitalo**	0,1	0

* kiinteistömuuntamo sijaitsee mitatun asunnon alapuolella

** asunnossa lattialämmitys

Tulosten perusteella voidaan todeta, että suomalaisissa kodeissa sähkö- ja magneettikentät alittavat väestön suositusarvot. Myös TTY:n muissa tutkimuksissa (Korpinen 2000) kodeissa tehdyt sähkö- ja magneettikentät ovat olleet suositusarvoihin verrattuna pieniä.

YDINASIAT

Rakennusten sähkö- ja magneettikentät

Talon oma sähköjärjestelmä ja erilaiset sähkönkulutuskojeet aiheuttavat ympärilleen sähkö- ja magneettikenttiä. Lisäksi joissakin rakennuksissa on sijoitettuna kiinteistömuuntamo, joka voi myös aiheuttaa yläpuolella tai vieressä olevaan tilaan tavallista isomman magneettikentän.

Rakennusten sähkökentät ovat varsin pieniä.

Rakennusten oman sähköjärjestelmän magneettikentät ovat huomattavasti alle suositusarvojen 100 μT (altistuminen kestää merkittävän ajan) ja 500 μT (altistuminen ei merkittävän ajan kestävää).

Kotitalouksissa merkittävimmät magneettikentän lähteet ovat rakennuksen sisällä rakennuksen oma sähköverkko, kolmivaihejärjestelmän epäsymmetriavirrat ja metalliputkistoissa kulkevat virrat.

Rakennuksien yhteyteen voidaan sijoittaa muuntamoita, mutta niiden suunnittelussa on hyvä ottaa sähkö- ja magneettikentät huomioon, etteivät muuntamon kentät huomattavasti nosta kenttäaltistusta rakennuksessa.

7 KODIN LAITTEIDEN KENTÄT

7.1 Asetuksen määrittelemät suositusarvot

Kodin laitteiden kohdalla perustaajuus on myös 50 Hz, joten asetuksesta käytetään tämän taajuusalueen suositusarvoja: sähkökentän osalta 5 kV/m ja magneettikentän osalta 100 μT (altistuminen kestää merkittävän ajan) ja 15 kV/m sekä 500 μT (altistuminen ei merkittävän ajan kestävä). Asetuksen kohtaa laajakaistaiset kentät voidaan joissakin erityistilanteissa (paljon yliaaltoja verkossa) joutua käyttämään. Säteilyturvakeskuksen mittausohjeita laajakaistaisista kentistä on esitetty liitteessä 1.

7.2 Mittaustuloksia kodin laitteiden kentistä

Erilaisten sähkölaitteiden magneettikentät vaihtelevat melko paljon, mutta ovat kuitenkin yleensä selvästi asetuksen suositusarvojen alapuolella. Sähkökentät ovat niin pieniä, että niitä on vaikea jopa mitata. Sähkökentät vaimenevat eri materiaaleissa. Lisäksi kentät vaimenevat varsin nopeasti etäännyttäessä laitteesta. Taulukkoon 7.1 on kerätty esimerkkejä TTY:ssä mitatuista erilaisista sähkölaitteista ja niihin liittyvistä mittaustuloksista.

Taulukko 7.1. Esimerkkejä eri laitteiden aiheuttamista magneettikentistä (B on magneettivuon tiheyden suuruus). Mittaukset on tehty viidessä pisteessä 25 cm etäisyydellä laitteen pinnasta taustakentän ollessa 0,02 μT . (Korpinen 2000)

Laite (määrä, kpl)	Keskiarvo B_{50} / μT	Suurin arvo B_m / μT
Tuuletin	4,3	8,1
Porakone	3,0	5,5
Sähkökolvi	1,1	1,9
Vatkain	0,4	0,7
Hiustenkuivaaja	0,4	0,5
Radio (3)	0,1-0,3	0,1-0,5
Kelloradio	0,2-0,3	0,2-0,6
Leivänpaahdin (2)	0,1-0,2	0,1-0,2
Vedenkeitin (3)	0,1-0,2	0,1-0,2
Vohvelirauta	0,1	0,4
Kuumailmapuhallin	0,1	0,1
Valaisin (2)	0,1-0,1	0,1-0,2
Kahvinkeitin (3)	0	0,1
Kiharrin	0	0

Lisäksi TTY:n laitteiden työskentelymittauksissa (3 mittauspistettä) on saatu mikroaaltouunilla suurin arvo 6 μT (mittausetäisyys 30 cm) ja pölynimurille 6 μT (mittausetäisyys 15 cm). IEC:n (International Electrotechnical Commission) standardissa (IEC 61000-2-7/1998) on esitelty myös kotitalouskoneiden aiheuttamia magneettikenttiä. Taulukossa 7.2 on esimerkkejä laitteiden magneettikenttäräajoista.

Taulukko 7.2 Magneettivuon tiheyksiä erilaisten kodin laitteiden läheisyydessä 60 Hz taajuudella (IEC 61000-2-7/1998).

Laite	Magneettivuon tiheys annetulla etäisyydellä, μT		
	3 cm	30 cm	1 m
Tehosekoitin	25 – 130	0,6 – 2	0 – 0,1
Kuivausrumpu	0,3 – 8	0,1 – 0,3	0
Pesukone	0,8 – 50	0,2 – 3	0 – 0,2
Kahvinkeitin	1,8 – 25	0,1 – 0,2	0
Astianpesukone	3,5 – 20	0,6 – 3	0,1 – 0,3
Pora	400 – 800	2 – 3,5	0,1 – 0,2
Sähköuuni	1 – 50	0,2 – 0,5	0
Sähkölevy	6 – 200	0,4 – 4	0 – 0,1
Parranajokone	15 – 1500	0,1 – 9	0 – 0,3
Tuuletin	2 – 30	0 – 4	0 – 0,4
Hiustenkuivaaja	6 – 2000	0 – 7	0 – 0,3
Silitysrauta	8 – 30	0,1 – 0,3	0
Mikroaaltouuni	75 – 200	4 – 8	0,3 – 0,6
Jääkaappi	0,5 – 1,7	0 – 0,3	0
Televisio	2,5 – 50	0 – 2	0 – 0,2
Imuri	200 – 800	2 – 20	0,1 – 2

Käytännössä kodin laitteiden ja kodin sähköjärjestelmän kentille altistuminen on huomattavasti pienempää kuin suosituksessa esitetyt arvot. Taulukon 7.2 tuloksia arvioitaessa on tärkeää ottaa huomioon, että lähellä käyttäjää olevan laitteen magneettikenttämittausten tuloksia ei voi suoraan verrata magneettivuontiheyden suositusarvoihin. Todellinen altistuminen on huomattavasti pienempi vielä 25 cm:n etäisyydellä.

YDINASIAT

Kodin laitteiden kentät

Sähkölaitteiden magneettikentät vaihtelevat melko paljon, mutta ovat kuitenkin yleensä selvästi asetuksen suositusarvojen alapuolella.

Sähkökentät ovat niin pieniä, että niitä on vaikea jopa mitata.

Yleensä kentät vaimenevat varsin nopeasti etäännyttäessä laitteesta.

8 TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Voimajohtojen osalta on jo nykyisin varsin hyvä kuva siitä, minkälaisia kenttiä niiden lähellä esiintyy ja miten niitä voidaan laskea ja mitata. Myös menetelmät kenttien pienentämiseksi tunnetaan, mutta niiden soveltaminen on varsinkin olemassa olevien rakenteiden ja laitteiden aiheuttamien magneettikenttien tapauksessa useimmiten tavattoman vaikeaa ja kallista. Tulevaisuudessa asetuksen keskeisin vaikutus on ehkä se, että avojohtojen suunnittelulle on käytössä selkeät suositusarvot, joita myös viranomaiset voivat hyödyntää suunnittelussa ja kaavoituksessa. Lisäksi toivottavaa on, että julkisen sanan yleinen tietämys paranee asetuksen myötä ja sen kautta epäselvyydet ja väestön turhat huolet vähenevät.

Kiinteistömuuntamoiden asuntoihin aiheuttamien kenttien osalta tilanne on vähän haastavampi. Näitä kenttiä ei voida yhtä helposti laskea kuin voimajohtojen kenttiä, joten ainut tapa selvittää perusteellisesti asetuksen suositusarvojen ylittymisiä on tehdä mittauksia. Tähän mennessä on kuitenkin kerätty jo varsin laajasti tietoa kiinteistömuuntamoiden kentistä ja siitä, miten paljon väestö näille kentille altistuu. Asiaa on tutkittu muun muassa arvioimalla sitä, miten paljon asuntoja on kiinteistömuuntamojen välittömässä läheisyydessä ja minkälaisia kenttiä esiintyy erilaisten kiinteistömuuntamojen lähellä sijaitsevilla tiloilla. Myös kenttien vähentämismenetelmiä on paljon kehitetty.

Vakiintuneita menetelmiä kiinteistömuuntamoiden asuntoihin aiheuttamien kenttien mittaamiseen ei ole aikaisemmin ollut, mutta Säteilyturvakeskus on julkaissut uuden ohjeen rakennusten kenttien mittaamisesta (Jokela 2003), joka huomattavasti helpottaa jatkossa yhtenäisten mittauskäytäntöjen kehittymistä.

Kokonaisuudessaan vaikuttaa siltä, että tulevaisuudessa sähkö- ja magneettikentät otetaan entistä enemmän huomioon sähköjärjestelmän rakenteiden ja laitteiden suunnittelussa.

Asetuksen perustana olevat tieteelliset tutkimukset etenevät jatkuvasti ja myös Maailman terveysjärjestö (WHO) tekee uusien tutkimustuloksien perusteella tarvittaessa kannanottoja kenttien terveysvaikutuksista. Seuraava WHO:n kannanotto kenttien terveysvaikutuksista näillä näkymin julkaistaan muutaman vuoden kuluttua.

Mikäli tutkimuspuolella todetaan jotain uusia terveysvaikutuksia, ne aiheuttavat paineita päivittää myös suosituksia niin Euroopan Unionin kuin Suomenkin tasolla. Tällä hetkellä kuitenkin ei ole mitään viitteitä siitä, että parhaillaan voimassa olevat sähköjärjestelmää koskevat suositusarvot olisivat muuttumassa lähitulevaisuudessa.

YDINASIAT

Tulevaisuuden näkymät

Voimajohtojen osalta on jo nykyisin varsin hyvä kuva siitä, minkälaisia kenttiä niiden lähellä esiintyy ja miten niitä voidaan laskea ja mitata.

Tulevaisuudessa asetuksen keskeisin vaikutus on ehkä se, että avojohtojen suunnittelulle on käytössä selkeät suositusarvot, joita myös viranomaiset voivat hyödyntää suunnittelussa ja kaavoituksessa.

Kiinteistömuuntamoiden asuntoihin aiheuttamia kenttiä ei voida yhtä helposti laskea kuin voimajohtojen kenttiä, joten ainut tapa selvittää perusteellisesti asetuksen suositusarvojen ylittymisiä on tehdä mittauksia. Kuitenkin on jo kerättynä varsin laajasti tietoa kiinteistömuuntamoiden kentistä ja siitä, miten paljon väestö näille kentille altistuu.

Säteilyturvakeskus on julkaissut uuden ohjeen rakennusten kenttien mittaamisesta (Jokela 2003).

Tällä hetkellä ei ole mitään viitteitä siitä, että parhaillaan voimassa olevat sähköjärjestelmää koskevat suositusarvot olisivat muuttumassa lähitulevaisuudessa.

KIRJALLISUUSVIITTEET

- Adato Energia Oy. 2001. Sähkö ja Kaukolämpö 64 s.
- Ahlbom A., Feychting M., Koskenvuo M., Olsen J.H., Pukkala E., Schulgen G., Verkasalo P. 1993. Electro-magnetic fields and childhood cancer. *Lancet*, 342, s.1295-6.
- Anttonen H., Hietanen M. 1979. Ammatillinen altistuminen sähkömagneettisille kentille. Helsinki, Työterveyslaitoksen tutkimuksia 152. 60 s.
- Anttonen H., Kalliomäki P.-L. 1981. Professional exposure to 50 Hz high voltage fields in Finland. Oulu, University of Oulu, Department of electrical engineering, Report S 72. 18 s.
- Aumala O., Kalliomäki K. 1985. Mittaustekniikka I: Mittaustekniikan perusteet. Otakustantamo. 112 s.
- Conti R., D'Ajello L., Nicolini P. 1996. Enel's experience in assessing occupational and residential exposure to power frequency electric and magnetic fields. CIGRE Session paper 36-104, 8 s.
- Elovaara J. 2003. Mahdollisuudet kenttien rajoittamiseen (Kaapeleiden kentistä) -kalvot
- Elovaara J., Laiho Y. 1988. Sähkölaitostekniikan perusteet. Otakustantamo. 487 s.
- EN 50341/25.3.2002. Overhead electrical lines exceeding AC 45 kV
- Energia-alan keskusliitto. 2003. [www-viittaus 14.5.2003, www.energia.fi]
- Euroopan unionin neuvosto, 1999. Neuvoston suositus väestön sähkömagneettisille kentille (0 Hz – 300 GHz) altistumisen rajoittamisesta (1999/519/EY). Euroopan yhteisöjen virallinen lehti, 199, s.59-70.
- Fingrid Oyj. 2001. Naapurina voimajohto. s. 2
- Fingrid Oyj. 2002. [www-viittaus 17.7.2003, www.fingrid.fi]
- Halinen S., Pulakka A., Lajunen A., Kivelä T., Sauramäki T., Keikko T., Korpinen L. 2001. Sähkökenttien vaimentaminen kasvillisuuden avulla 400 kV:n voimansiirtojohtojen alla, II osa. Tampere, Tampereen Teknillinen korkeakoulu, Sähkötekniikka ja terveystieteet, raportti 1-2001. 59 s.
- Hongisto M. 1992. Magneettikenttäaltistus Suomen kantaverkon läheisyydessä. Diplomityö, Espoo, Teknillinen korkeakoulu. 157 s.
- Hongisto M., Valjus J. 1993. Magneettikenttäaltistus 110-400 kV johtojen läheisyydessä. Imatran Voima Oy. Tutkimusraportti IVO-A-05/93. 135 s.
- Hämäläinen M. 2002. Pientaajuiset magneettikentät ja kiinteistömuuntamot. Opinnäytetutkielma, Kuopio, Kuopion yliopisto, Ympäristötieteidenlaitos. 79 s.
- Hänninen K., Valjus J. Voimajohtojen sähkö- ja magneettikentät. *Sähkö*, 61, 3, s.10-14.
- ICNIRP. 1998. Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300GHz). *Health Physics*, 74, 4, s.494-522.
- ICNIRP. 2002. Guidance on Determining Compliance of Exposure to Pulsed and Complex Non-sinusoidal Waveforms Below 100kHz with ICNIRP Guidelines. *Health Physics*, 84, 3, s.383-387.
- IEC 61000-2-7/1998. Electromagnetic Compatibility (EMC). Part 2: Environment – Section 7: Low frequency magnetic fields in various environments. 69s.
- Jokela, K. 2000. Restricting exposure to pulsed and broadband magnetic fields. *Health Physics*, 79, 4, 373 s.

- Jokela, K. 2003. Rakennusten magneettikenttien mittaaminen. Säteilyturvakeskus, STUK tiedottaa 1/2003, 20 s.
- Keikko, T. 2003 Technical Management of the Electric and Magnetic Fields in Electric Power System. Väitöskirja, Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Julkaisuja 422. 87 s.
- Korpinen L. 1990. Voimansiirtojohtojen sähkömagneettisten kenttien terveysvaikutusten arviointi. Licensiaattityö, Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Sähköenergiajärjestelmät. 122 s.
- Korpinen L., Hietanen M., Jokela K., Juutilainen J., Valjus J. 1995. Voimajohtojen sähkö- ja magneettikentät ympäristössä. Helsinki, Kauppa- ja teollisuusministeriö, Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 89, 210 s.
- Korpinen L., Isokorpi J., Keikko T. 1998. Kartoitus pientaajuisista sähkökentistä elin- ja työympäristössä. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Sähkövoimatekniikan laitos, raportti 6-98. 35 s.
Myös internetissä: <http://leeh.ee.tut.fi/raportit98/>
- Korpinen L. 2000. Laitteiden ja elinympäristön sähkö- ja magneettikenttien mittaaminen. Helsinki, Kauppa- ja teollisuusministeriö, Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 9/2000. 134 s.
- L 603/29.7.1977. Laki kiinteän omaisuuden ja erityisten oikeuksien lunastuksesta
- L 592/27.3.1991. Säteilylaki
- L 132/5.2.1999. Maankäyttö- ja rakennuslaki
- National Radiological Protection Board (NRPB). 2001. ELF Electromagnetic Fields and the Risk of Cancer, 12, 1, s.184.
- Sauramäki T., Keikko T., Korpinen L. 2002. Väestön altistuminen laajakaistaisille sähkö- ja magneettikentille. Tampere, Tampereen Teknillinen korkeakoulu, Sähkötekniikka ja terveys –laboratorio, raportti 2-2002, 56 s.
- STMp 1474/27.3.1991. Sosiaali- ja terveysministeriön päätös ionisoimattoman säteilyn altistuksen enimmäisarvoista
- STMa 294/2002. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamisesta. Helsinki, 2002, 47 s.
- Sosiaali- ja terveysministeriö. 2002. Väestön ionisoimatonta säteilyaltistusta rajoittavan sosiaali- ja terveysministeriön NIR-asiatuntijaryhmän muistio. Helsinki, Sosiaali- ja terveysministeriö, Sosiaali- ja terveysministeriön työryhmämuistioita, 38, 64.
- Statens energiverk. 1986. Biologiska effekter av kraftledningars elektriska och magnetiska fält. Stockholm.
- Suojanen M., Vehmaskoski J., Korpinen L. 2000. Sähkökenttien vaimentaminen kasvillisuuden avulla 400 kV:n voimansiirtojohtojen alla. Tampere, Tampereen Teknillinen korkeakoulu, Sähkövoimatekniikan laitos, raportti 1-2000. 49 s.
- Sähkötarkastuskeskus. 1986. Vahvavirtailmajohtomääräykset. Helsinki, Sähkötarkastuskeskus, 125 s.
- Valjus J. 1987. Pientaajuisien sähkö- ja magneettikenttien fysiologiset vaikutukset. Helsinki, Imatran Voima Oy, Tutkimusraportti IVO-A-04/87. 154 s.
- Vattenfall. 1986. Högsäpplingsledningars hälsamilljö. Vällinby.
- Verkasalo P. 1996. Magnetic fields of high voltage power lines and risk of leukaemia in Finnish adults. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, 22, 2, 56.
- World Health Organization. 1984. Extremely Low Frequency (ELF) Fields. Geneva, WHO, Environmental Health Criteria 35. 131 s.
- World Health Organization. 1987. Magnetic fields. Geneva, WHO, Environmental Health Criteria 69. 197 s.

AIHEESEEN LIITTYVIÄ WWW-LINKKEJÄ

Kotimaiset www-linkit:

Energia-alan kohtaamispaikka ja tietopankki, www.energia.fi

Energia alan keskusliitto ry Finergy, www.finergy.fi

Fingrid Oyj, www.fingrid.fi

Voimansiirtojärjestelmän sähkö- ja magneettikentät (PDF)
www.fingrid.fi/fin/konserni/PDF/Sm-kentat.pdf

Helsingin Energia, www.helsinginenergia.fi/

Sähkö- ja magneettikentät www.helsinginenergia.fi/ymparisto/sahkokentat.html

Kuopion yliopisto, www.uku.fi

Ympäristötieteiden laitos, www.uku.fi/ytty

Säteilytutkimus, www.uku.fi/sate/

Sosiaali- ja terveysministeriö, www.stm.fi

Asetus ionioimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistuksen rajoittamisesta
www.vn.fi/stm/suomi/eho/julkaisut/nir/nirase.pdf

Sähköenergialiitto ry Sener, www.energia.fi/sener

Säteilyturvakeskus, www.stuk.fi

Yleisesti ihmisestä ja säteilystä, www.stuk.fi/sateily_ja_ihminen/

Kodin säteilevät laitteet, www.stuk.fi/sateily_ja_ihminen/laitteet.html

Sähkömagneettiset kentät, www.stuk.fi/sateily_ja_ihminen/kentat.html

Laserit, www.stuk.fi/sateily_ja_ihminen/laserit.html

Tampereen teknillinen yliopisto, www.tut.fi

Sähkötekniikka ja terveys –laboratorio, leeh.ee.tut.fi

Sähkövoimatekniikan ympäristöopus, leeh.ee.tut.fi/ymppi/yleis/

Tutkimusraportteja

Korpinen L., Isokorpi J. 1997., Teknologian kehittäminen pientaajuisten magneettikenttien vähentämiseksi sähköön siirrosta ja –jakelussa
leeh.ee.tut.fi/raportit97

Keikko T., Isokorpi J., Korpinen L. 1997., Pientaajuisten magneettikenttähäiriöiden pienentämismenetelmiä
<http://leeh.ee.tut.fi/raportti1997/>

Korpinen L., Isokorpi J., Keikko T. 1998., Kartoitus pienitaajuisista sähkökentistä elin- ja työympäristössä
leeh.ee.tut.fi/raportit98

Kotiniitty J., Reivonen S., Kantell T., Keikko T., Korpinen L. 1999., Kiinteistömuuntamoiden magneettikentät
leeh.ee.tut.fi/raportit99/muuntamo

Keikko T., Kuusiluoma S., Menonen P., Korpinen L. 2000., Käytännön kokemuksia kiinteistömuuntamoiden magneettikenttien pienentämisestä
leeh.ee.tut.fi/raportit2000/muuntamo

Sauramäki T., Hiltunen J., Kivelä T., Halinen S., Pulakka A., Keikko T., Korpinen L. 2000., Kokemuksia magneettikenttäaltistustutkimuksista
leeh.ee.tut.fi/raportit2000/mittaus

Suojanen M., Vehmaskoski J., Korpinen L. 2000., Sähkökenttien vaimentaminen kasvillisuuden avulla 400 kV voimansiirtojohtojen alla
leeh.ee.tut.fi/raportit2000/kasvillisuus

Halinen S., Pulakka A., Lajunen A., Kivelä T., Sauramäki T., Keikko T., Korpinen L. 2001., Sähkökenttien vaimentaminen kasvillisuuden avulla 400 kV voimansiirtojohtojen alla, II osa
leeh.ee.tut.fi/raportit2001/kasvillisuus

Keikko T., Sauramäki T., Korpinen L. 2002., Laajakaistaisille sähkö- ja magneettikentille altistuminen työympäristössä erityisesti sähköntuotannon, siirron ja jakelun työpaikoilla
leeh.ee.tut.fi/laajakaista/tyontekijat

Sauramäki T., Keikko T., Korpinen L. 2002., Väestön altistuminen laajakaistaisille sähkö- ja magneettikentille
leeh.ee.tut.fi/laajakaista/vaesto

Työterveyslaitos, www.ttl.fi

Ulkomaiset www-linkit:

Bioelectromagnetics society (BEMS), www.bioelectromagnetics.org

European Biomagnetics Association (EBEA), www.ebea.org

International Agency for Research on Cancer (IARC), www.iarc.fr

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), www.icnirp.de

National Radiological Protection Board (NRPB), www.nrpb.org

Union of the Electricity Industry (EURELECTRIC), www.eurelectric.org

World Health Organization (WHO), www.who.int

International Electromagnetic Fields Project http://www.who.int/health_topics/electromagnetic_fields/en/

Kansainvälisten lehtien www-linkit

Bioelectromagnetics Journal, www.interscience.wiley.com/jpages/0197-8462/

Electromagnetic Biology and Medicine <http://www.dekker.com/servlet/product/productid/JBC/toc>

Reviews on Environmental Health www.angelfire.com/il/freund/ENVIRASc.html

Radiation and Environmental Biophysics springerlink.metapress.com/link.asp?id=100453

The Radiation Safety and Processing Magazine, www.radjournal.com